



Jenni Malinen

Kaksoislaattapalkistorakenteen tutkimus- ja korjausmenetelmät

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 30.11.2015

Valvoja: Professori (Adjunct) Jarek Kurnitski

Ohjaaja: DI Tiina Palviainen, IdeaStructura Oy

TkT Esko Sistonen, Aalto-yliopisto

Tekijä Jenni Malinen

Työn nimi Kaksoislaattapalkistorakenteen tutkimus- ja korjausmenetelmät

Laitos Rakenne- ja rakennustuotantotekniikka

Professori Lähes nollaenergiarakennukset

Professuurikoodi Rak-43

Työn valvoja Professori (Adjunct) Jarek Kurnitksi

Työn ohjaajat DI Tiina Palviainen, TkT Esko Sistonen

Päivämäärä 30.11.2015

Sivumäärä 89+3

Kieli Suomi

Tiivistelmä

Nykyisin sisäilman laatu herättää paljon keskustelua. Epäonnistuneita sisäilmakorjauksia ja peruskorjausten jälkeen ilmenneitä sisäilmaongelmia tuodaan esille jatkuvasti. Tästä johtuen minkäänlaisia riskejä sisäilman laadulle ei haluta rakennuksiin jättää ja suojeltaviakin rakenteita puretaan laajasti. Toisaalta rakenteita tulisi säästää korvaamattoman rakennusperinnön suojelemiseksi.

Diplomityön tavoitteena oli tuoda esille kaksoislaattapalkistorakenteiden säästäviä korjausmenetelmiä varmuuden vuoksi tehtävien purkutöiden tilalle. Muiden korjausmenetelmien kuin rakenteiden osittaisen purkamisen ongelmana on pidetty rakenteen vauriolaajuuden määrittämistä sekä korjausten riittävytyden toteamista ja onnistumisen varmistumista. Työssä käsitellään rakenteen tutkimusmenetelmiä ennen korjaustavan valintaa sekä korjausten aikana ja niiden jälkeen.

Kaksoislaattapalkistoa käytettiin Suomessa pääasiassa välipohjarakenteena vuosien 1900–1960 aikana. Rakenne muodostuu kantavasta yläläatasta, palkistosta ja ohuemmasta alaläatasta. Palkkien ja laattojen väliin jää kotelotilat, joihin on rakennusaikana jätetty vanhat muottilaudat ja täyttömateriaalit. Täyttömateriaalina on käytetty lämmön- ja ääneneristysyistä luonnonmateriaaleja. Materiaalit ovat kastuneet ja mahdollisesti vaurioituneet jo rakennusaikana. Huolimatta siitä, onko materiaaleissa nykyisin aktiivista mikrobikasvustoa, kotelotiloissa oleva pölyävä materiaali huonontaa sisäilman laatua päästessään rakenteen kotelotiloista ilmapuotoreittien kautta huoneilmaan.

Työssä käsitellään aihetta kuuden tapaustutkimuskohteen kautta. Tapaustutkimuskohteet valittiin siten, että kohteissa olevien välipohjarakenteiden tutkimukset ja korjaukset ovat eri vaiheissa. Tapaustutkimuskohteista perehdyttiin käytettyihin tutkimus- ja korjausmenetelmiin. Lisäksi suoritettiin kenttätutkimuksia kohteissa, joissa korjaustyöt olivat käynnissä.

Työssä arvioidaan tutkimusmenetelmien hyötyä kaksoislaattapalkiston vauriolaajuuden ja korjausmenetelmien määrittämiseen. Lopuksi esitellään systemaattiset tutkimustavoitteet ja -askeleet, joilla kaksoislaattapalkiston tutkimuksiin tulisi ryhtyä, jotta vältettäisiin rakenteiden turhaa purkamista.

Avainsanat Kaksoislaattapalkisto, välipohjarakenne, sisäilmariski, orgaaninen täyttömateriaali, tutkimusmenetelmät



| | | |
|---|-----------------------------|-------------------------------------|
| Author Jenni Malinen | | |
| Title of thesis Research and Repair Methods of Beam-and-Slab Structure | | |
| Department Civil and Structural Engineering | | |
| Professorship Nearly Zero Energy Buildings | | Code of professorship Rak-43 |
| Thesis supervisor Adjunct Professor Jarek Kurnitski | | |
| Thesis advisors M.Sc. Tiina Palviainen, D.Sc. Esko Sistonen | | |
| Date 30.11.2015 | Number of pages 89+3 | Language Finnish |

Abstract

The quality of indoor air is currently a common topic of discussion. Unsuccessful renovations and degraded quality of indoor air after renovations are brought to public almost constantly. Therefore building owners and constructors do not want to leave any risks for the quality of indoor air in the building and structures of listed buildings have also been demolished just to be on the safe side. On the other hand old structures should be conserved for the sake of preserving the building heritage.

The aim of this study was to bring in to knowledge optional repair methods for the demolitions. The problem with the other methods has been the difficulty and uncertainty in defining the contaminated areas, and how to be sure the used repair method is enough to ensure good quality of indoor air. In this study under consideration are different research methods, which are used before making the decisions of the repair methods of the structure and also during and after the renovation to ensure the success of the renovation.

The beam-and-slab structures were constructed 1900–1960. The shuttering forms used for casting of the beams and the upper slab were left inside the structure. The structures were sometimes stuffed with organic material for soundproofing and heat insulation. The organic material inside the structure has been saturated already during construction. If the structure has additional moisture stress, the circumstances inside the structures are favourable to the microbes to grow. The microbes and other impurities inside the structure may cause indoor air problems in the building, if they migrate into indoor air.

This study includes six case studies. The case studies are buildings whose renovations are in different phases. The case studies were analysed by their research and repair methods that were used for the beam-and-slab structures. Also some field experiments were made in situ.

The goal was to estimate the benefits of different research methods for determining the deterioration level and areas of the structure, and for choosing suitable repair methods for the beam-and-slab structures. This study introduces systematic research goals and steps for beam-and-slab structures to avoid unnecessary demolition.

Keywords indoor air, intermediate floor, organic matter, research methods

Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty IdeaStructura Oy:ssä. Työn valvojana on toiminut Aalto yliopiston professori (adjunct) Jarek Kurnitski ja ohjaajina Tiina Palviainen IdeaStructurasta sekä Esko Sistonen Aalto yliopistosta. Tutkimuksen rahoittajina olivat IdeaStructura Oy ja Senaatti-kiinteistöt.

Haluan kiittää sekä työn valvojaa että ohjaajia avusta työn valmiiksi saattamisessa. Kiitos myös tutkimuksen rahoittajille ja kaikille muille tutkimuksessa haastattelujen, aineiston hankinnan ja kenttätutkimusten kautta mukana olleille. Mielenkiintoisesta työn aiheesta, käydyistä keskusteluista työhön liittyen ja kaikesta muusta avusta työn aikana kiitän Tiina Palviaista ja Jukka Huttusta. Lisäksi kiitän Jyrki Jallia ja Selja Flinkiä, jotka auttoivat työn alkuun ja toivat kaivattuja näkökulmia työn aikana. Suuret kiitokset menevät myös perheelle ja ystäville sekä kaikille IdeaStructuran työkavereille, jotka jaksoivat kysellä työn edistymisestä sekä kannustaa epätoivon ja onnistumisen hetkinä.

Espoo 30.11.2015



Jenni Malinen

Sisällysluettelo

| | |
|--|----|
| Tiivistelmä | |
| Abstract | |
| Alkusanat | |
| Sisällysluettelo | 1 |
| 1 Johdanto | 3 |
| 2 Betoninen kaksoislaattapalkisto | 5 |
| 2.1 Historia Suomessa | 5 |
| 2.2 Valmistustapa | 7 |
| 2.3 Rakennetekniikka | 9 |
| 2.4 Vastaavia rakenteita ulkomailla | 12 |
| 3 Rakennusperinnön suojelu | 15 |
| 3.1 Suojelun tavoitteet ja hyödyt | 15 |
| 3.2 Lainsäädäntö | 16 |
| 4 Rakenteen vaurioituminen | 18 |
| 4.1 Kosteuden kulkeutuminen | 18 |
| 4.2 Mikrobivaurio | 20 |
| 5 Tutkimusmenetelmät | 21 |
| 5.1 Aistinvarainen arviointi | 21 |
| 5.1.1 Rakenneavaus | 22 |
| 5.1.2 Arviointi porareian kautta | 24 |
| 5.2 Mikrobiologisen näytteen analysointi | 26 |
| 5.2.1 Materiaalinäyte | 27 |
| 5.2.2 Pintanäytteet | 27 |
| 5.2.3 Ilmanäytteet | 28 |
| 5.3 Homekoira-arviointi | 30 |
| 5.4 Merkkiainekokeet | 31 |
| 5.5 Savukokeet | 31 |
| 5.6 Kotelotilojen olosuhdemittaukset | 31 |
| 5.7 Kosteusmittaukset | 32 |
| 5.7.1 Pintakosteus | 32 |
| 5.7.2 Rakennekosteus | 33 |
| 6 Korjausmenetelmät | 35 |
| 6.1 Tiivistyskorjaukset | 35 |
| 6.2 Kotelotilojen alipaineistus | 38 |
| 6.3 Betonipintojen puhdistus purkutöiden jälkeen | 38 |
| 6.3.1 Mekaaninen puhdistus | 39 |
| 6.3.2 Desinfiointi | 40 |
| 6.3.3 Muut keinot | 40 |
| 7 Laadunvarmistusmenetelmät | 41 |
| 7.1 Aistinvarainen laadunvarmistus | 41 |
| 7.2 Vedeneristeen kuivakalvonpaksuuden määrittäminen | 41 |
| 7.3 Merkkiainekokeet | 42 |
| 7.4 Paine-eromittaukset | 42 |
| 7.5 UV-valon käyttö | 43 |
| 8 Tapaustutkimuskohteet | 45 |
| 8.1 Kohde 1: Korjaus ei alkanut, toimistorakennus | 45 |
| 8.1.1 Tutkimukset | 46 |
| 8.1.2 Tutkimustulokset | 51 |

| | | |
|-------|---|----|
| 8.1.3 | Mikrobi-ilmanäytteet rakenteen kotelotiloista | 51 |
| 8.1.4 | Mikrobinäytteiden tulosten vertailu | 54 |
| 8.2 | Kohde 2: Korjausvaihe käynnissä, koulurakennus | 55 |
| 8.2.1 | Peruskorjauksen ensimmäinen vaihe | 55 |
| 8.2.2 | Peruskorjauksen toinen vaihe | 60 |
| 8.3 | Kohde 3: Korjaus toteutettu, koulurakennus | 61 |
| 8.3.1 | Peruskorjaus 2004–2006 | 62 |
| 8.3.2 | Mallihuoneen ilmatiivistyskokeet | 64 |
| 8.3.3 | Seurantatutkimukset | 65 |
| 8.3.4 | Vesivuodot | 66 |
| 8.4 | Kohde 4: Korjaus toteutettu, koulurakennus | 66 |
| 8.4.1 | Kaksoislaattapalkiston tutkimukset | 66 |
| 8.4.2 | Kaksoislaattapalkiston purkutyöt | 67 |
| 8.4.3 | Betonipintojen puhdistus | 68 |
| 8.5 | Kohde 5: Korjaus toteutettu, päiväkotirakennus | 69 |
| 8.5.1 | Tutkimukset ennen peruskorjausta | 69 |
| 8.5.2 | Ylä- ja välipohjarakenteiden korjaustyöt | 70 |
| 8.5.3 | Laadunvarmistus | 72 |
| 8.6 | Kohde 6: Ei laajoja korjauksia välipohjien osalta | 73 |
| 9 | Johtopäätökset | 74 |
| 9.1 | Tapaustutkimuskohteet | 74 |
| 9.2 | Kaksoislaattapalkiston korjausmenetelmät | 75 |
| 9.3 | Kaksoislaattapalkiston tutkimusmenetelmät | 76 |
| 9.4 | Tavoitteiden arviointi | 78 |
| 9.5 | Jatkotutkimukset | 79 |
| 10 | Yhteenveto | 80 |
| | Lähdeluettelo | 83 |
| | Liiteluettelo | 89 |
| | Liitteet | |

1 Johdanto

Nykyisin sisäilma ja sen laatu herättävät paljon keskustelua. Varsinkin julkisten rakennusten sisäilman huono laatu huomataan ja ilmaistaan herkästi rakennusten käyttäjien toimesta. Rakennusten home- ja sisäilmaongelmat ovat nykyisin paljon julkisuudessaakin esillä ja epäonnistuneita sisäilmakorjauksia tuodaan esille jatkuvasti. Tämä on johtanut siihen, että korjausten yhteydessä minkäänlaisia riskejä sisäilman laadulle ei haluta rakennuksiin jättää. Vanhoja rakenteita puretaan laajasti, vaikka ongelmia ei aiemmin olisi ollutkaan.

Toisaalta vanhoja rakennuksia ja rakenteita tulisi suojella rakennusperinnön säästämiseksi. Varsinkin suojelluissa arvorakennuksissa tulisi rakenteiden purkutöihin tarttua harkiten eikä purkutöitä tulisi suorittaa ainoastaan varmuuden vuoksi. Tässä diplomityössä sisäilmariskin aiheuttajana ja suojeltavana rakenteena käsitellään vanhoja betonis- ja kaksoislaattapalkistoja rakennuksen ala-, väli- tai yläpohjana. Nykyisin yhä useamassa jopa suojelun alla olevassa kohteessa kaksoislaattapalkistorakenteita ja muita vastaavalla tavalla ongelmallisia välipohjarakenteita puretaan koko rakennuksen laajuudessa.

Kaksoislaattapalkistorakenteen koteloiloissa olevat puiset muottilaudat ja muut luonnonmateriaalit ovat usein vaurioituneet jo rakennusaikaisen kosteuden vuoksi tai voivat vaurioitua käytön aikana kosteuden päästessä rakenteisiin. Kosteusvaurioitunut luonnonmateriaali voi aiheuttaa sisäilmaongelmia ollessaan yhteydessä sisäilmaan. Riskittömin ja nykyisin Suomessa usein käytetty menettelytapa kaksoislaattapalkistolle on rakenteen purkaminen täytön ja laudoituksen poistamiseksi. Rakenteen osittainenkin purkaminen on työläs ja kallis korjausmenetelmä. Lisäksi purkamisen yhteydessä korvaamatonta rakennusperintöä menetetään varsinkin rakennushistoriallisesti merkittävissä kohteissa.

Purkamisen sijasta tehtäviin muihin korjaustapoihin liittyen ongelmaksi jää korjauksen riittävyyden ja onnistumisen varmistaminen. Jo tieto rakenteen sisällä olevista vanhoista muottilautoista ja rakennusjätteestä voi aiheuttaa ahdistusta, jos korjauksen riittävyyteen ja onnistumiseen ei luoteta. On olemassa hyvin vähän tietoa, miten täyttömateriaalia sisältäviä välipohjarakenteita tai niiden aiheuttamia riskejä rakennuksen sisäilman laatuun tulisi tutkia, jotta riittävät korjaustavat voitaisiin määrittää. Usein suoritetaan turhia tutkimusvaiheita, joiden tuloksiin perustuen päädytään lähinnä purkamaan välipohjarakenteet. Systemaattinen tapa, miten tutkimukset tulisi suorittaa ja mitä tutkimustapoja käyttää, puuttuu.

Tämän diplomityön tavoitteena oli löytää hyödylliset kaksoislaattapalkiston ja yleisesti sisäilmariskin aiheuttavien välipohjarakenteiden tutkimusmenetelmät, joiden perusteella arvioidaan rakenteiden aiheuttamia sisäilmaongelmia ja -riskejä ennen korjaustavan valintaa tai varmistetaan korjauksen onnistumista sen aikana ja jälkeen. Ratkaisuna pyrittiin kehittämään systemaattinen tapa tutkia näitä rakenteita, jotta voidaan valita kohteeseen sopiva korjaustapa ja -laajuus ottaen huomioon rakennusten terveellisyyden lisäksi rakennusperinnön suojelu.

Konkreettisen ratkaisun löytämistä tärkeämpänä tavoitteena tällä työllä on tuoda esille erilaisia näkökulmia sisäilmariskin aiheuttavien välipohjarakenteiden tutkimusten ja korjausten toteuttamiselle. Lisäksi tavoitteena on saada aikaan asennemuutosta nykyisin valitseville varmuuden vuoksi tehtäville rakenteiden purkutöille varsinkin rakennushistoriallisesti arvokkaissa kohteissa.

Tutkimusmenetelminä tässä diplomityössä käytettiin kirjallisuuskatsauksen lisäksi tapaustutkimuskohteita. Tapaustutkimuskohteisiin perehdyttiin niihin tehtyjen tutkimusten ja korjausten sekä niihin liittyvän aineiston avulla. Tutkimuskohteisiin liittyen tehtiin tarvittaessa haastatteluja kiinteistön omistajilta, käyttäjiltä ja kohteiden korjauksiin liittyviltä tekijöiltä. Tapaustutkimuskohteita sisällytettiin työhön yhteensä kuusi kappaletta.

Tutkimuskohteiksi valittiin kaksoislaattapalkiston kannalta kohteita, joissa

- ei ollut tehty korjausta
- korjausta suunniteltiin
- korjaus oli käynnissä tai korjaukset oli toteutettu jo aiemmin.

Käynnissä olevissa korjauskohteissa välipohjarakenteita tutkittiin mahdollisuuksien mukaan aistinvaraisin keinoin ja mikrobiologisin tutkimuksin. Lisäksi pyrittiin kokeellisesti testaamaan tutkimusmenetelmiä, joista mahdollisesti voisi olla hyötyä välipohjarakenteiden tutkimuksissa ja laadunvarmistuksessa.

Tapaustutkimuskohteen 1 peruskorjaushanketta varten tehtyjä välipohjarakenteiden tutkimuksia olin seuraamassa eri tutkimusvaiheiden aikana ja osallistuin kokeellisten tutkimusten suunnitteluun ja toteutukseen. Tapaustutkimuskohteen 2 peruskorjauksen aikaisia väli- ja yläpohjarakenteiden tutkimuksia olin itse aktiivisesti tekemässä. Lisäksi kohteessa 4 olin ulkopuolisen sisäilmavalvojan mukana ottamassa näytteitä ja seuraamassa välipohjakorjausten etenemistä.

Tämän diplomityön kanssa samaan aiheeseen liittyen työn ohjaaja Tiina Palviainen (IdeaStructura Oy) tekee omaa opinnäytetyötään rakennusterveysasiantuntijakoulutusta varten. Palviaisen työssä keskitytään enemmän puuvälipohjarakenteisiin. Toissā on käytetty osittain samoja tapaustutkimuskohteita, sillä usein samasta rakennuksesta löytyy sekä betoni- että puuvälipohjia täyttömateriaaleineen. Lisäksi Senaatti-kiinteistössä, joka on toinen tämän tutkimuksen rahoittajista, pohditaan myös vaihtoehtoja rakenteiden turhan purkamisen välttämiseksi varsinkin suojelluissa rakennuksissa.

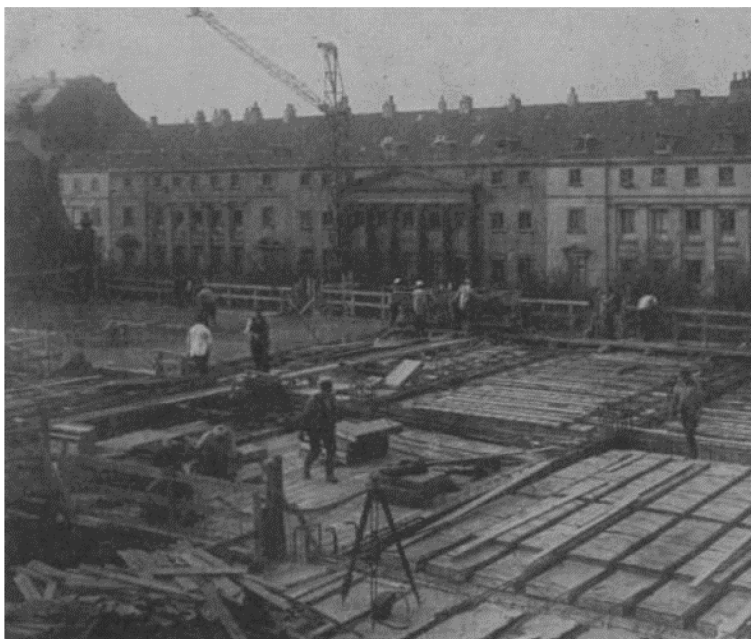
2 Betoninen kaksoislaattapalkisto

Tässä työssä keskitytään betoniseen kaksoislaattapalkistorakenteeseen, jota on käytetty pääasiassa välipohjarakenteena 1900–1950 –luvuilla rakennetuissa rakennuksissa. Rakennetta on käytetty joissain kohteissa myös ala- tai yläpohjarakenteena. Ala- tai yläpohjarakenteena toimiva rakenne eroaa välipohjarakenteesta siinä määrin, että rakenteen toisella puolella on kylmä tila ja toisella lämmin. Tämä täytyy ottaa huomioon kosteuden siirtymisessä ja tiivistymisessä rakenteisiin, mutta muuten rakenteeseen liittyvät ongelmat, näkökulmat ja tekniset seikat ovat samat. Tässä luvussa käydään läpi rakenteen historiaa, rakennustapaa ja rakenteellista toimintaa.

2.1 Historia Suomessa

Suomeen levisi 1900-luvun alussa perinteisten rakennusmateriaalien puun, punatiilen ja luonnonkiven lisäksi rautabetoni. Betonia pidettiin muita materiaaleja käyttökelpoisempänä moneen kohteeseen, sillä rautabetonilla saatiin nopeasti rakennettua suuria kuormia kantavia, palonkestäviä rakenteita. Rakenteista saatiin saumattomia, yhtenäisiä ja niiden muotoilu ei ollut yhtä rajoitettua kuten muilla rakennusaineilla. Rautabetonia pidettiin lisäksi terveellisenä rakennusmateriaalina, koska se ei homehtunut tai mädäntynyt ja se oli täysin tiivistä eikä päästänyt hajuja läpi. Myöskään sieniä ei uskottu betonin sileään pintaan pääsevän kasvamaan. (Nykänen 1911.)

Esimerkiksi välipohjarakenteissa puuvasojen käyttöä alettiin korvata erilaisilla raudan ja betonin yhdistelmäratkaisulla. Tärkeimpänä betonin ominaisuutena välipohjien kannalta pidettiin paloturvallisuuden parantamista. Aiemmin talon runko muurattiin yhtäjaksoisesti ylös asti ja samalla asennettiin välipohjien puuvasat. Rautabetonin käytön myötä välipohjien täytyi antaa kovettua rauhassa valun jälkeen, jolloin toisella puolella rakennusta muurattiin seiniä ja samanaikaisesti toisella puolella valettiin välipohjia. Rautabetonin käyttö vaati uuden rakennustekniikan ja uusien työmenetelmien kehittämistä. (Neuvonen ym. 2002.)



Kuva 1. Saksalainen rakennustyömaa 1920-luvulta. Rakennusaikana välipohjat olivat taivasalla pitkiäkin aikoja ilman sääsuojausta. (Pohlmann 1921.)

Tampereen, kenties jopa Suomen, ensimmäiset rautabetoniset välipohjalaatat ja kannatinpalkit valmisti saksalainen yritys Wayss & Freytag muutamaan Tampereella olevaan rakennukseen. Näiden kohteiden rakentamisessa käytettiin myös saksalaisia rakennuspiirustuksia, työnjohtoa sekä työmiehiä. Tamperelainen rakennusmestari Richard Helander, joka oli perustanut vuonna 1898 rakennusainekaupan, kiinnostui uudesta tekniikasta. Hän aloitti yhteistyön insinööri Jalmar Castrénin kanssa. Castrén, josta myöhemmin tuli teknillisen korkeakoulun professori, toimi aluksi Helanderin neuvonantajana ja myöhemmin yhteistyökumppanina. Vuonna 1906 Helander toteutti ensimmäiset rautabetonityöt ja siten hänestä tuli ensimmäinen suomalainen yrittäjä rautabetonialalla. Helanderin rautabetonityöt olivat aluksi lähinnä rautabetonisten välipohjien rakentamista. Käytettyään rautabetonia menestyksekkäästi useissa rakennusprojekteissa Helander siirtyi Helsinkiin. Vuonna 1913 alun perin Helanderin perustama Tampereen Sementtivalimo ja Rautabetoni Oy perusti myös haarakonttorin Helsinkiin, sillä rautabetonitöitä alkoi olla yhä runsaammin tarjolla. (Manner 2010.)

Ensimmäisen maailmansodan aikana rakennuskustannusten hinnat nousivat merkittävästi ja ammattitaitoisesta työväestä oli pulaa. Rakennusmateriaalien hinnat olivat sodan jälkeen satoja prosentteja korkeampia verrattuna aikaan ennen sotaa. (Neuvonen ym., 2002) Rakennusmateriaalien käyttöä alettiin säännöstellä, minkä vuoksi betonia ja rautaa täytyi käyttää mahdollisimman vähän. Välipohjarakenteena suosittiin yhä enemmän ala- ja kaksoislaattapalkistoa massiivibetonivälipohjan sijaan huolimatta siitä, että rakenteet olivat umpinaista betonivälipohjaa työläämpiä ja monivaiheisempia tehdä. Oli kannattavampaa säästää rautaa ja betonia kuin rakentamiseen käytettyjä työtunteja. Palkistomainen rakenne oli lisäksi massiivibetonilaattaa kevyempi vaihtoehto, jolloin myös tukirakenteiden kustannuksissa säästettiin. (Mäkiö 2015.)

Yhtenä syynä sille, miksi kaksoislaattapalkistoa käytettiin alalaattapalkiston sijaan, on Varjo (1939) maininnut puurakenteella ummistetussa alalaattapalkistossa olleet kotisyöpäläiset. Koit, muurahaiset ja lutikat pääsivät alalaattapalkiston täytteisiin lattiarakenteen raoista. Kalkin sirotteleminen täytteeseen ja lattiarakenteen tiivistys olivat yksi ratkaisu jo olemassa olevissa rakenteissa, mutta kaksoislaattapalkiston käyttöä pidettiin varmempana ratkaisuna. Jos kantavan ylälaatan ja lattiamateriaalin alle asennettiin vielä erillinen ääneneristykerros, voitiin täytemateriaali jättää jossain kohteissa kokonaan asentamatta.

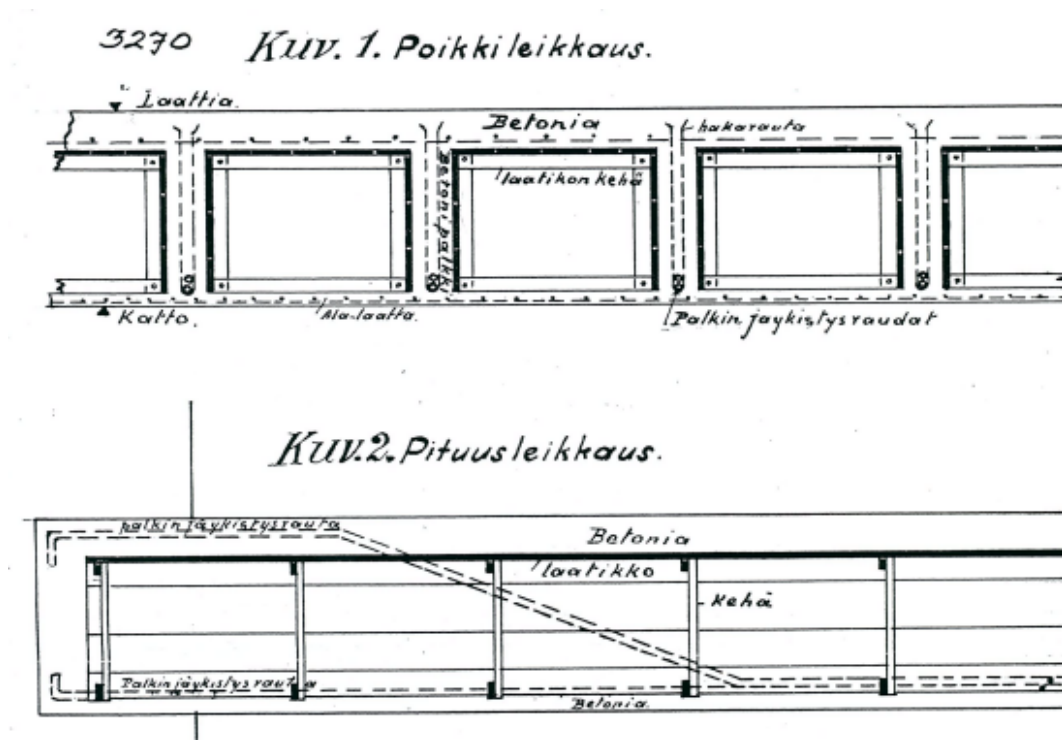
Helsingin vuoden 1917 rakennusjärjestys ei enää rajoittanut kerrostalojen kerroslukua viiteen vaan oli luvallista rakentaa myös 6- tai 7-kerroksisia rakennuksia. Rakennuskorkeuteen alettiin kuitenkin kiinnittää huomiota ja korkeus rajoitettiin 1,5 metriä yli kadun leveyden tai maksimissaan 20 metriin. Pienemmillä huone- ja kerroskorkeuksilla oli mahdollista saada rakennuksiin yksi kerros enemmän. 1920–30-luvuilla huonekorkeus olikin laskenut aiemmasta neljästä metristä alle kolmen metrin. Kerroskorkeutta saatiin entisestään pienennettyä käyttämällä kaksoislaattapalkiston sijaan ohuempaa massiivibetonivälipohjaa. (Neuvonen ym. 2002.)

Toisen maailmansodan jälkeisen pulakauden loputtua 1950-luvun puolivälissä ala- ja kaksoislaattapalkistojen käyttö korvattiin kokonaan massiivibetonilaatoilla. Kaksoislaattarakenteista välipohjaa ei käytetty enää ollenkaan 1960-luvulla. (Mäkiö 2015.)

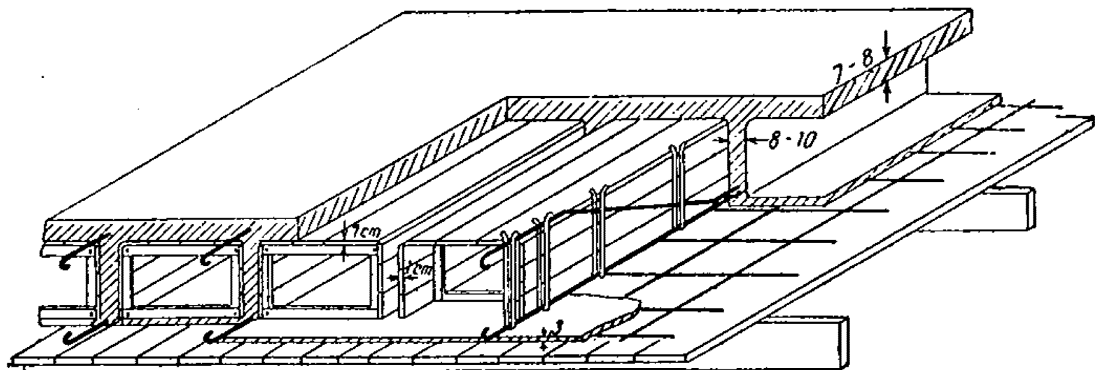
2.2 Valmistustapa

Varsinkin vuosien 1900–1910 aikana kehitettiin ja patentoitiin Suomessa ja muualla Euroopassa useita erilaisia rautabetonisia välipohjarakenteita ja niiden valmistustapoja. Yhteisenä piirteenä kaikille näille välipohjille oli palkistomainen rakenne. Välipohjat koostuivat rautabetonisesta paikallavaletusta palkistosta, johon oli valettu yhtenäisesti ala- tai ylälaatta tai molemmat. Yksi näistä välipohjarakenteista oli vuonna 1908 Jalmar Castrénin ja Richard Helanderin patentoima laatikkokatto. (Neuvonen ym. 2002.) Castrén-Helander -patentti koski valmistustapaa, jossa valutelineenä käytettiin irtonaisia, puusta tehtyjä rännimäisiä laatikoita. Laatikot jätettiin joko tyhjinä tai täyteaineella täytettyinä rakenteen sisään. Rakenne on esitetty kuvissa 2 ja 3. (Castrén 1908.)

Tässä työssä laatikkokattoa, ja muita eri menetelmin toteutettuja vastaavia rakenteita, nimitetään kaksoislaattapalkistoksi. Muita rakenteesta käytettyjä nimityksiä ovat esimerkiksi kaksoislaattaholvi, kaksoislevyholvi, kaksilevyholvi, kotelolaatta ja kotelolaattapalkisto.

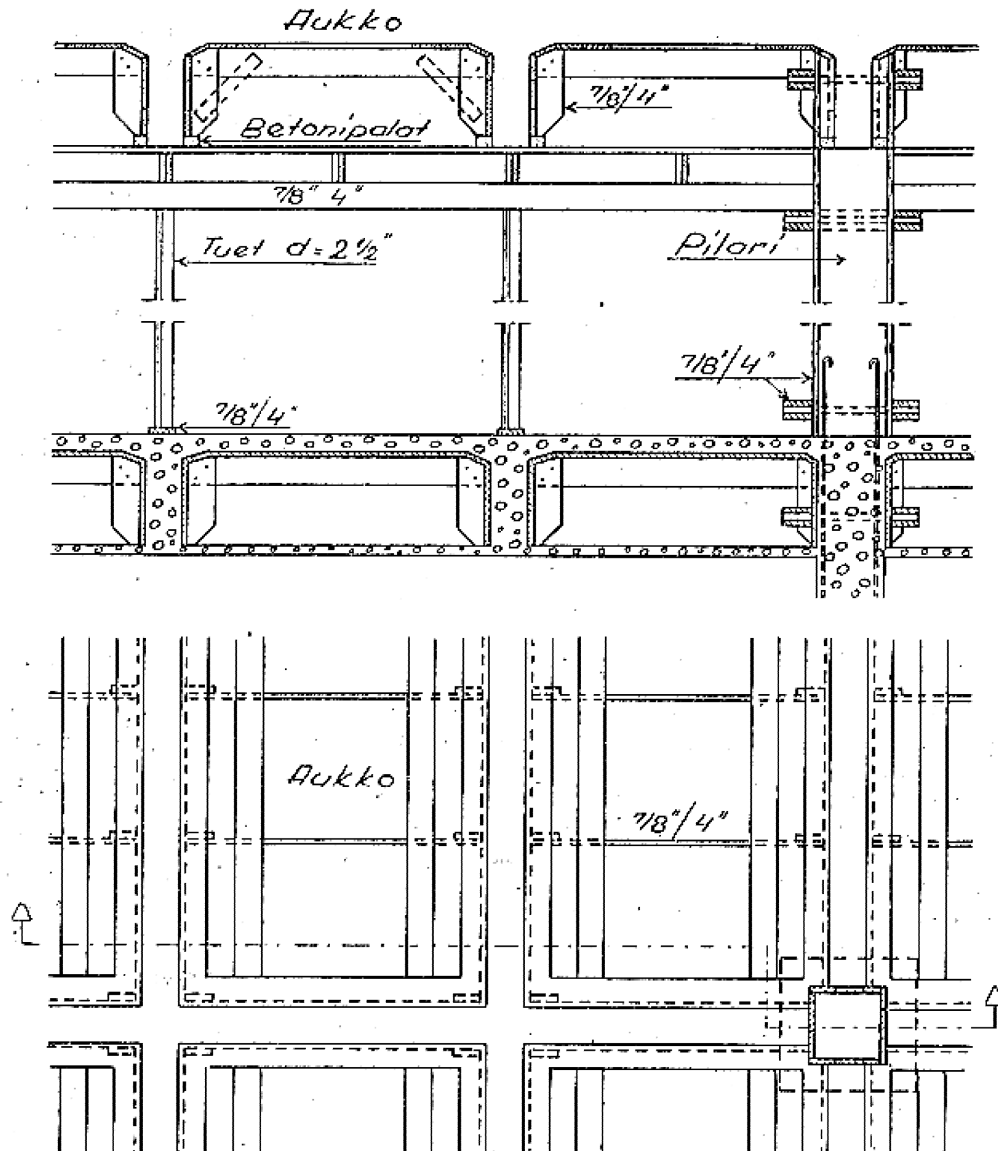


Kuva 2. Castrén-Helander -laatikkokattojärjestelmän poikkileikkaus ja pituusleikkaus. (Castrén 1908.)



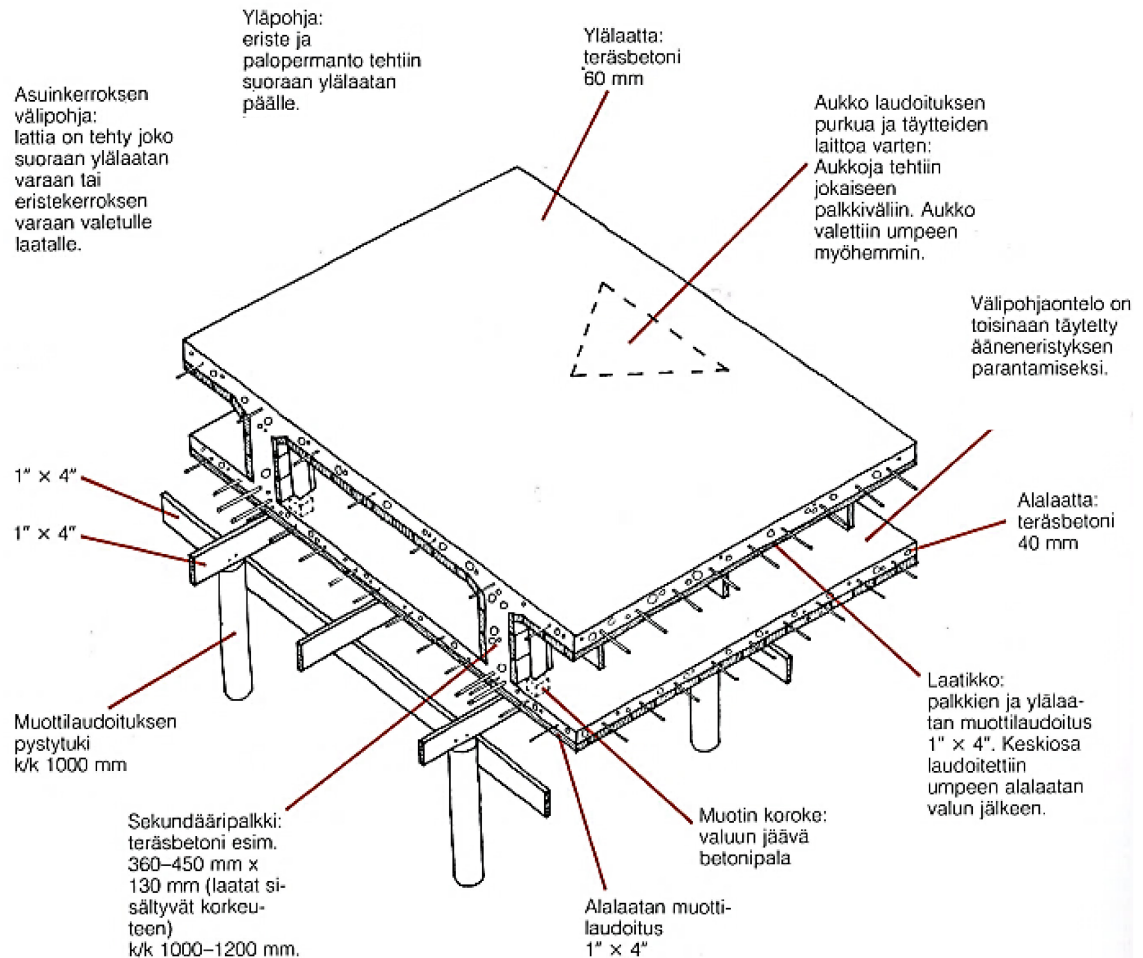
Kuva 3. Castrén-Helander -laatikkokattojärjestelmä. (Muoniovaara 1922.)

Pari vuotta Castrénin patentoiman valmistustavan jälkeen patentoitiin hyvin samantapaiselle välipohjarakenteelle toinenkin valmistustapa. Tämä tapa poikkeaa Castrén-Helander-patentista siten, että puulaatikoiden sijaan koteloiden muotit tehtiin normaalin tapaan laudoittamalla. Laidoittamalla tehdyt muotit on esitetty kuvassa 4. Laatikoiden avulla tehdyille rakenteelle palkkiväliksi tuli 50 cm tai 75 cm ja laudoittamalla tehdyille 1-1,3 metriä. (Neuvonen ym. 2002.)



Kuva 4. Laatikkokattomenetelmästä poikkeava menetelmä rakenteen muottien valmistamiseen. Alempi kuva esittää laudoitusta ylhäältä päin ja ylempi kuva on leikkauspiirustus. (Aalto ym. 1947.)

Kaksoislaattapalkistot tehtiin paikallavaluna siten, että ohuempi noin 30–50 mm paksu rautabetoninen alalaatta valettiin ensin muottien päälle. Ennen alalaatan lopullista kovettumista asennettiin palkkeja ja ylälattaan varten puiset muottilaudoitukset laatan päälle. Muottilautojen tarkoituksena oli muodostaa rakenteen kotelotilat, jotka kevensivät rakennetta. Kotelotilojen väliin asennettiin palkkien raudoitukset ja päälle ylälattaan rauditus. Tämän jälkeen kaksoislaattapalkiston palkit ja noin 60–100 mm paksu ylälatta valettiin yhtenäisesti siten, että palkkien ja ylälattaan väliin ei jäänyt työsaumoja. Muottilauditus jäi rakenteen sisään. Joissain tapauksissa muottilaudat poistettiin ylälattaan valamisen jälkeen laattaan jätettyjen aukkojen kautta. Rakenne on esitetty kuvassa 5. (Mäkiö ym. 1990.)



Kuva 5. Kaksoislaattapalkisto (Mäkiö ym. 1990.)

Joskus tekotapa on poikennut edellä kuvatusta siten, että alalaatta ja palkistot on valettu yhtenäisesti ensin ja tämän jälkeen teräsbetoninen ylälaatta. Tässä tapauksessa työsauma on jäänyt palkkien ja ylälaatan väliin. Myös raudoitusten asennuksessa on poikkeavuuksia: joskus palkkien vetoraus on alalaatan ja palkkien välisen työsauman yläpuolella ja joskus sen alapuolella.

2.3 Rakennetekniikka

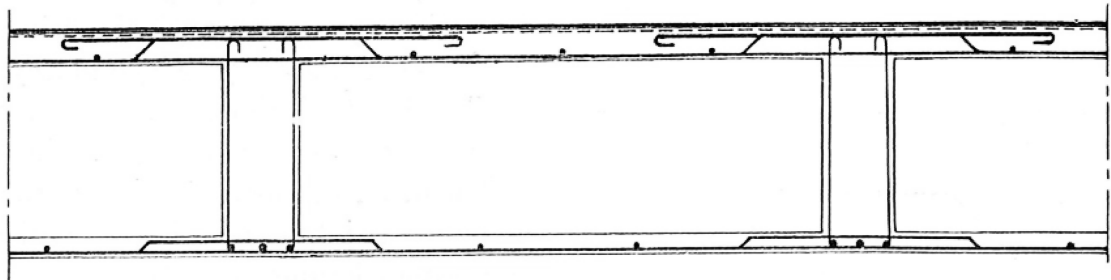
Kaksoislaattapalkistolla on ollut useita valmistustapoja, mistä johtuu rakenteen tapauskohtainen rakenteellinen toiminta. Purkutöitä suunniteltaessa täytyy aina tapauskohtaisesti perehtyä rakenteen toimintaan esimerkiksi alkuperäisten suunnitelmien avulla ja tarkastaa, kestäkö rakenteen kantokyky suunnitellut purku- ja korjaustyöt. Jos vanhoja suunnitelmia ei ole käytettävissä, täytyy rakenteen toiminta selvittää kohteessa tehtävin koeporauksin ja rakenneavauksin.

Kaksoislaattapalkiston kantavana osana ovat sekundääripalkit ja paksumpi lattiarakenteena toimiva ylälaatta. Sekundääripalkit siirtävät lattiarakenteelle tulevan kuorman rakennuksen kantaville pystyrakenteille joko primääripalkkien välityksellä betonipilareille tai kuormantasauspalkkien kautta tiilimuureille. Sekundääripalkit ovat koko välipohjarakenteen paksuisia mukaan lukien ylä- ja alalaatta eli yleensä noin 400–500 mm. Joskus selvästi paksumpiakin riippuen rakenteelle suunnitellusta kuormasta ja tarvittavasta jännevälistä. (Mäkiö ym. 1990.)

Kantava yläläatta toimii rakenteen puristettuna osana. Jos kaksoislaattapalkistossa olevat täyttömateriaalit aiotaan poistaa yläläatan kautta, täytyy purkaukset tehdä alueille, joissa laatta ei toimi osana palkkileikkausta. Jos yläläatta puretaan kokonaan, täytyy rakenne tukea korjaustöiden ajaksi ja lisävahvistaa purkutöiden jälkeen.

Joissain tapauksissa alaläatta on tukien läheisyydessä paksumpi ja toimii niin sanotun jatkuvan palkin puristuslaattana. Tällöin alaläatan purkutyöt täytyy tehdä suunnitelmallisesti heikentämättä rakenteen kuormituskapasiteettia. Jos puristuslaattana toimiva alaläatta puretaan kokonaisuudessaan, voi palkkien kapasiteetti pienentyä merkittävästi. Tilannetta voidaan verrata tapaukseen, jossa T-palkiksi suunniteltu palkki muutettaisiin suorakaidepalkiksi.

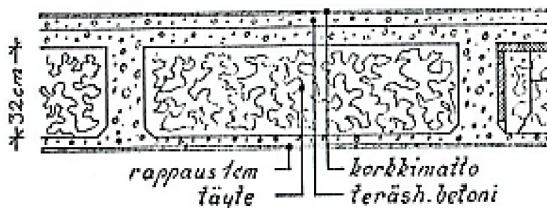
Yleensä ohutta alaläattaa kuormittavat ainoastaan mahdolliset kotelotiloissa olevat täyttömateriaalit. Tapauksissa, joissa alaläatta ei toimi puristuslaattana, voidaan alaläatta purkaa. Palkkiliittymiin tulee kuitenkin purkutöiden yhteydessä jättää alaläattaa purkamatta, jotta palkkien pääraudoitukset jäävät suojaan. Jos alaläatta puretaan palkkeihin asti, tulevat raudoitukset herkästi esiin, jolloin niiden korroosio- ja palosuoja heikkenevät. Kuva 6 esittää erästä kaksoislaattapalkiston leikkauskuva ja rakenteen raudoituksia.



Kuva 6. Kaksoislaattapalkiston leikkauskuva ja raudoitukset. Alaläatta on sidottu raudoituksella palkkien alapinnan vetoraudoitukseen. (Varjo 1939.)

Rakennusaikana välipohjien kotelotiloihin asennettiin usein täyttömateriaalia joko muottilautojen asentamisen kanssa samaan aikaan tai rakenteen valamisen jälkeen yläläattaan tehdyn tai jätetyn aukon kautta (Kuva 8). Täyttömateriaalina käytettiin luonnonmateriaaleja ja rakennusjätettä: tiili-, laasti- ja betonimurskaa, kutterinlastua, sahanpurua, koksikuonaa, turvetta, sammalta, olkea ja hiekkaa. Täyttömateriaalin tarkoituksena oli parantaa rakenteen äänen- ja lämmöneristävyyttä. Kuvassa 7 on esitetty rakenteella laskettuja lämmönläpäisylukuja kotelotiloissa olevista muottilaudoista ja täyttömateriaaleista riippuen. Lämmöneristykseenä käytettiin kevyitä ja huokoisia aineita ja ääneneristykseenä painavampia aineita. Usein ensin kotelotiloihin asennettiin lämmöneristävyyden vuoksi huokoista täyttömateriaalia, jonka päälle asennettiin painavampaa materiaalia esimerkiksi hiekkaa ääneneristävyyden parantamiseksi. (Neuvonen ym. 2002.)

| | ky | ka |
|---|------|------|
| Laudoitus purettu, ilman täytettä | 1.78 | 1.38 |
| „ purkamatta „ „ | 1.49 | 1.20 |
| Laudoitus purettu, koksikuonatäyte (2/3 täytetil.) | 0.83 | 0.74 |
| Laudoitus purkamatta koksikuonatäyte (1/2 täytetilasta) | 0.85 | 0.76 |



Kuva 7. Kaksoislaattapalkistolle laskettuja lämmönläpäisylukuja, ky = lämmönläpäisyluku, kun lämpö siirtyy ylöspäin, ka = lämmönläpäisyluku, kun lämpö siirtyy alaspäin. (Tuomola 1948.)



Kuva 8. Kaksoislaattapalkiston ylälaattaan on tehty rakenneavaus samaan kohtaan, josta rakennusvaiheessa on asennettu täyttömateriaalit rakenteen kotelotilaan.

Kaksoislaattapalkisto on usein osittain rakennettu siten, että rakenteen kotelotilat ovat auki tiiliseinää vasten. Tämä näkyy hyvin alla olevassa kuvassa 9. Rakennusaikana välipohjan kautta seinälle kulkeutuneet sadevedet ja mahdollisesti märät täyttömateriaalit ovat kastelleet muurauksen paikallisesti muita alueita enemmän. Rakennuksen ulkopuolelta käsin on joissain tapauksissa rakennusajan jälkeen voinut päätellä välipohjan sijainnin ja rakentamistavan julkisivussa olleista kosteusjäljistä välipohjien kohdalla (Mäkiö 2015). Joissain tapauksissa välipohjia on rakennusaikana keinotekoisesti kuivattu puhaltamalla kuumaa ilmaa välipohjien kotelotiloihin (Helsingin sotilassairaala 1936).

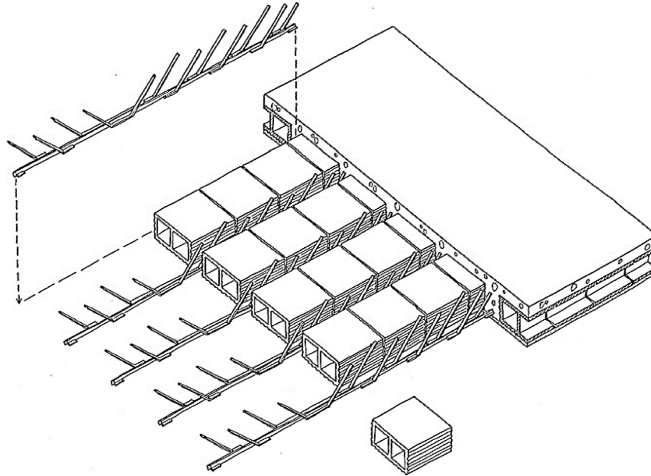


Kuva 9. Kaksoislaattapalkisto, josta on purettu ylälaatta, muottilaudat ja täyttömateriaalit. Kuvasta nähdään, miten kotelotila on rakennettu suoraan ulkoseinän tiilimuurausta vasten.

Täyttömateriaalista huolimatta rakennetta pidettiin rakennusaikana hygieenisenä sen umpinaisuuden ja betonin ominaisuuksien perusteella (Mäkiö 2015). Nykyisin kaksoislaattapalkistorakenteen tiiviys on kyseenalaistettu. Yhtenäinen betonikerros on tiivis eikä sen läpi pääse kulkeutumaan mikrobiepäpuhtauksia (Leivo ja Rantala 2006). Vanhassa rakenteessa on kuitenkin halkeilua, ilmatiiveydeltään puutteellisia liittymäkohtia, läpivientejä ja muita epäjatkuvuuskohtia, joiden kautta epäpuhtaudet pääsevät kulkeutumaan huoneilmaan. Varsinkin ohut alalaatta on usein tiiviydeltään puutteellinen. (Palviainen 2015.)

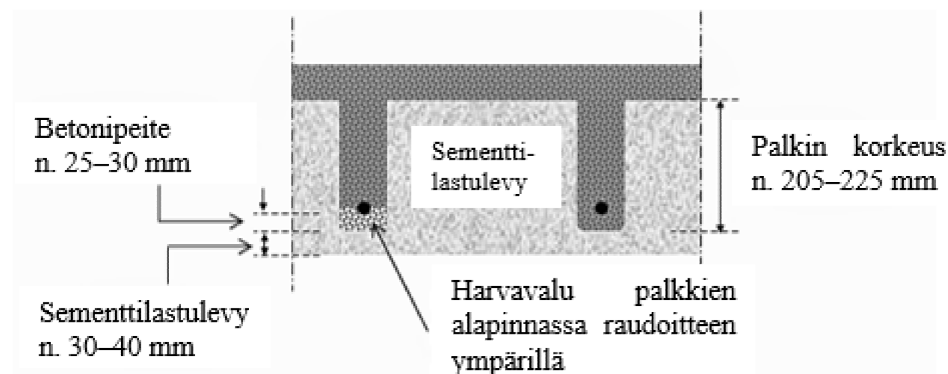
2.4 Vastaavia rakenteita ulkomailla

Iso-Britanniassa käytettiin 1900-luvulla kevennettyinä välipohjarakenteina ylä- ja kaksoislaattapalkistoa. Ennen toista maailmansotaa rakenteen valumuotteina käytettiin ontelotiiliä, jotka jätettiin rakenteeseen. (Gold ja Martin 1999.) Samankaltaista rakennetta käytettiin myös Suomessa ja se patentoitiin vuonna 1909 Julius Kahnin välipohjaksi (Neuvonen ym. 2002). Ontelotiilirakenne on esitetty kuvassa 10.



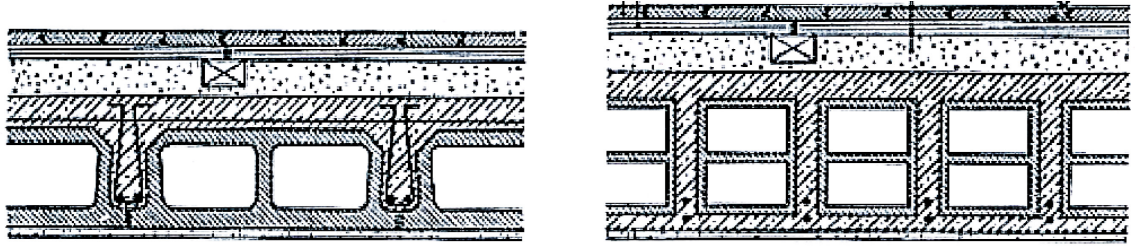
Kuva 10. Paikallavalettu rautabetoninen välipohjarakenne, jossa valumuotteina on käytetty ontelotiiliä. Suomessa rakenne patentoitiin 1909 Julius Kahnin välipohjaksi. (Neuvonen ym. 2002)

1950-luvun alussa Iso-Britanniassa ylälaattapalkiston muotteina käytettiin sementtilastulevymuotteja (engl. wood wool). Muottien huokoisen materiaalin vuoksi betonivalun kosteus imeytyi muottimateriaaliin, mikä on tehnyt palkkien alaosan betonista heikkolaatuista ja raudoitteen ja betonin välinen tartunta on jäänyt heikoksi. Tämä on johtanut raudoitteiden korroosioaurioihin. Rakenteen korroosioauriot ovat jääneet piiloon rakenteeseen jäävien sementtilastulevyjen alle. Rakenne on esitetty kuvassa 11. (Gold ja Martin 1999.)



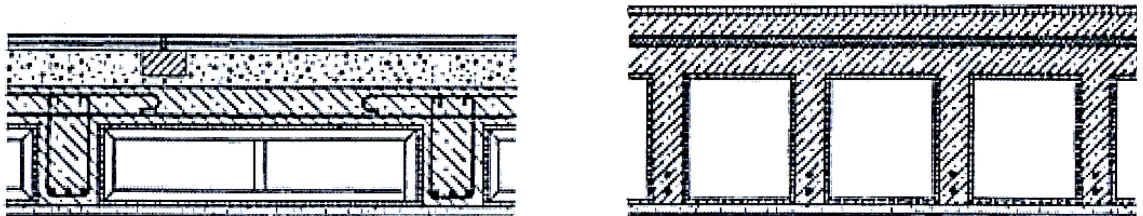
Kuva 11. Iso-Britanniassa 1950-luvulla käytetty paikallavalettu betonilaatasto, jossa valumuottina on käytetty sementtilastulevyä.

Myös Saksassa oli 1900-luvun alussa käytössä laaja kirjo tiilimuotteilla kevennettyjä betonivälipohjia. Kuten Suomessa myös Saksassa säännösteltiin ensimmäisen maailmansodan aikaan betonin käyttöä sementin kalliin hinnan vuoksi. Betonia ja rautaa säästettiin keventämällä välipohjarakenteita esimerkiksi savitiilimuotteilla, jotka jätettiin rakenteen sisään. Kaksi esimerkkiä tiilillä kevennetyistä välipohjarakenteista on esitetty kuvassa 12. (Fischer 2008.)

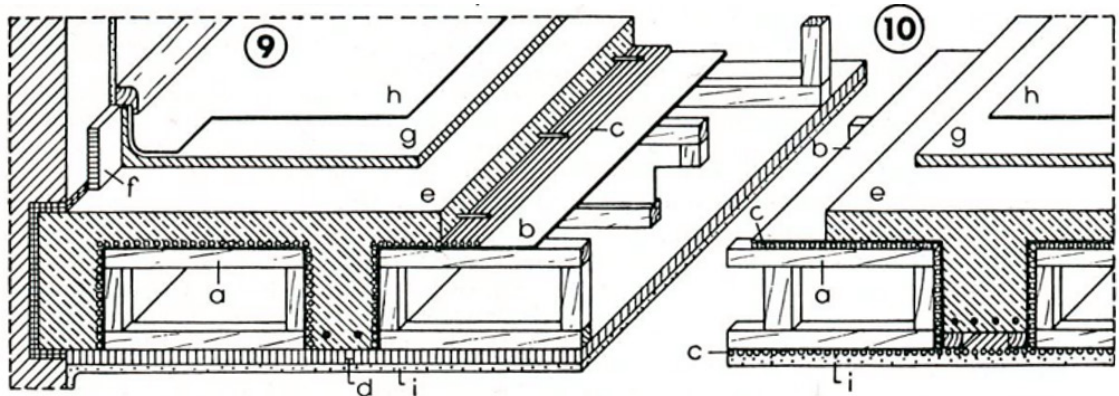


Kuva 12. Saksassa käytettyjä tiilillä kevennettyjä välipohjarakenteita. (Mohr 1936.)

Suomessa käytetyn kaksoislaattapalkiston esikuvana on todennäköisesti ollut Saksassa 1900-luvun alussa kehitetty Rohrzellendecke (Kuva 13), joka on patentoitu nimellä System Wayss (Mohr 1936). Kuten aiemmin mainittiin, Tampereella ensimmäiset käytetyt rautabetonisiet välipohjarakenteet olivat saksalaisen yrityksen Wayss & Freytag toimittamia. Luultavasti kyseessä on ollut juurikin System Wayss. Saksassa tämän välipohjarakenteen jälkeen on kehitetty myös toinen vastaava rakenne, Pohlmann-Rahmenzellendecke, joka on esitetty kuvissa 13 ja 14 (Mohr 1936). Kolmas vastaavanlainen rakenne on Saksassa ainakin ennen 1960-lukua käytössä ollut Romaklitha-Leichtzellendecke, joka on esitetty kuvassa 14 (Mittag 1957).



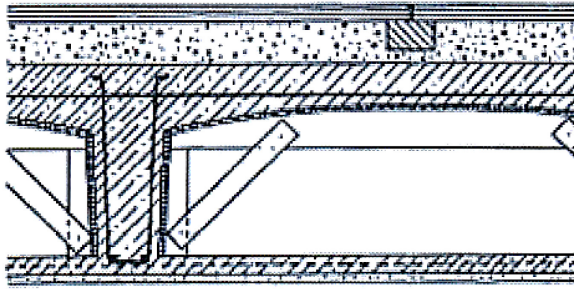
Kuva 13. Vasemmalla System Wayss (Rohrzellendecke), joka on ollut Suomessa käytetyn kaksoislaattapalkiston esikuvana. Oikealla Pohlmann-Rahmenzellendecke, joka on kehitetty Wayssin kehitämän välipohjarakenteen jälkeen. (Mohr 1936.)



Kuva 14. Lähes Suomessa käytettyä kaksoislaattapalkistoa vastaavien saksalaisten välipohjarakenteiden kotelotilojen valumuottina on käytetty ruokomattoa. 9: Romaklitha-Leichtzellendecke (leicht=kevyt). 10: Pohlmann-Rahmenzellendecke. a=puukehys, b=pahvi, c=ruokokudos, d=eristyslevy, e=teräsbetoni, f=eristyslevykaista, g=kipsipäällyste, h=korkkimatto, i= kattorappaus. (Mittag 1957.)

Kaikissa näissä rakenteissa palkkien ja ylälaatan muotteina on käytetty ruokomattoja, joista on muodostettu kotelotilat muottilautojen avulla. Ruokomatto on jännitetty myös rakenteen kotelotilojen alaosiksi, jolloin matto on toiminut rappausalustana. (Mittag 1957.) Rakenteissa ei siis ole ollenkaan betonista alalaattaa, vaan alapinta on rapattu kuten Suomessa käytetyissä puuvälipohjissa. Saksalaisissa välipohjarakenteissa, joissa on

ontelot, on käytetty betonista alalaattaa vain harvoin. Eräs alalaatatallinen betonivälipohjarakenne on Rippendecke, joka on patentoitu nimellä System Porr. (Mohr 1936.) Tämä rakenne on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. System Porr on Saksassa käytetty betoninen välipohjarakenne, jossa on sekä ylä- että alalaatta. (Mohr 1936.)

Kaksoislaattapalkiston käytöstä ulkomailla on saatavilla aineistoa hyvin vähän. Luultavasti rakennetta lautamuotteineen ei ole käytetty yhtä laajasti tai mahdollisesti vastaavat täysin homeriskittömät rakennukset eivät ole korjausrakentamisen tavoitteena samalla tavalla muualla kuin Suomessa. Voi myös olla, että muualla käytetyt rakenteet eroavat sen verran, että niillä ei nykyisin ole vastaavaa riskiä sisäilmaan kuin Suomessa käytössä olleella kaksoislaattapalkistolla.

3 Rakennusperinnön suojele

Rakennusperinnöllä tarkoitetaan kaikkia ihmisen tekemiä rakennuksia, rakennettuja alueita ja rakenteita. Siihen kuuluu sekä rakennusten sisä- että ulkopuoliset rakenteet. Arvokkaan rakennusperinnön säilymistä edesautetaan suojelupäätöksillä. Kuitenkin suojelemattomallakin rakennuksella voi olla rakennustaiteellista, rakennushistoriallista tai rakennusteknistä merkitystä. Kaikissa kohteissa tulisi aina tapauskohtaisesti miettiä, miten korjaus- ja muutostyöt toteutetaan rakennusperintöä ajatellen. (Kivilaakso 2010.)

3.1 Suojelun tavoitteet ja hyödyt

Rakennusperinnön suojelun periaatteiden mukaan korjaukset tehdään mahdollisimman suuri osa rakennuksen olemassa olevasta materiasta säilyttäen. Suojelu ei keskity pelkästään rakennuksen näkyviin pintoihin, vaan yhtenä tärkeänä tavoitteena on rakennuksen historiallisen todistusvoiman säilyminen. Vanhojen materiaalien ja perinteisten työtapojen tulee säilyä rakennuksessa korjausten jälkeenkin. Rakennusosia uusitaan ainoastaan, jos olemassa olevaa ei voida kohtuudella korjata. (Museovirasto 1997.) Rakennussuojelun periaatteita noudattamalla rakennuskannan luonnollista elinkaarta saadaan usein pidennettyä. Ennen kaikkea rakennussuojelun päämääränä on kuitenkin säilyttää rakennettu ympäristö viihtyisänä, toimivana ja historiallisesti rikkaana myös tuleville sukupolville. (Kivilaakso 2010.)

Kivilaakso (2010) huomauttaa, että Suomessa rakennukset ja rakennelmat eivät muodosta ainoastaan merkittävää osaa kulttuurihistoriaamme ja identiteettiämme vaan myös lähes kaksi kolmasosaa kansanvarallisuudestamme. Rakennuksen sijainti, estetiikka, tyypillisuus, ikä, rakennustekniikka ja kulttuurihistoriaan liittyvät erityispiirteet vaikuttavat rakennusperinnöllisen arvon lisäksi rakennuksen taloudelliseen arvoon. Rakennusperintöä vaalien kunnossa pidetty rakennus voi olla taloudellisesti arvokkaampi kuin rakennus, jossa alkuperäiset rakenteet on korvattu uudella rakennustekniikalla ja uusilla materiaaleilla.

Rakennussuojelullisten tavoitteiden ja terveellisen sisäilmaston yhteensovittaminen on koettu arvorakennusten omistajien ja suunnittelijoiden keskuudessa erityisen vaikeaksi (Tähtinen ym. 2013). Rakennusten korjaus- ja muutostyöt on aina toteutettava järjestyksessä, tilojen toiminta, turvallisuus ja terveellisyys huomioon ottaen. Parasta suojelua rakennuksille, on niiden käyttökelpoisena pysyminen. Rakennus pysyy kunnossa, kun siellä on toimintaa ja käyttäjiä, jotka pitävät huolen rakennuksen huoltotarpeesta. Kenenkään etu ei ole suojella rakennuksia niiden käyttötarkoituksen kustannuksella. (Mäkiö 2015.) Suojeluarvoja ei tule kuitenkaan unohtaa muihin tavoitteisiin perustuen. Turhan usein suojeltaviakin rakenteita hävitetään ilman tilojen käyttöön, turvallisuuteen tai terveellisyteen liittyvää todellista syytä.

Kaksoislaattapalkiston purkamisen yhteydessä itse rakenteen ja siihen liittyvän historiallisen arvon lisäksi voidaan menettää rakenteen arvokkaita lattia- ja kattopintoja maalauksineen. Lisäksi purkutyöt vanhassa rakennuksessa voivat aiheuttaa vaurioita myös ympäröiviin rakenteisiin. Laajojen purkutöiden aiheuttaman suuren pölyhaitan ja jätemäärän lisäksi rakenteen sisällä olevat mikrobit voivat levitä rakennukseen ja ympäröiviin rakenteisiin purkutöiden aikana (Kuva 16). Kun suojellaan kaksoislaattapalkistorakennetta purkamiselta, suojellaan samalla koko rakennusta purkutöiden aiheuttamilta haitoilta ja vaurioilta. (Flink 2015.)

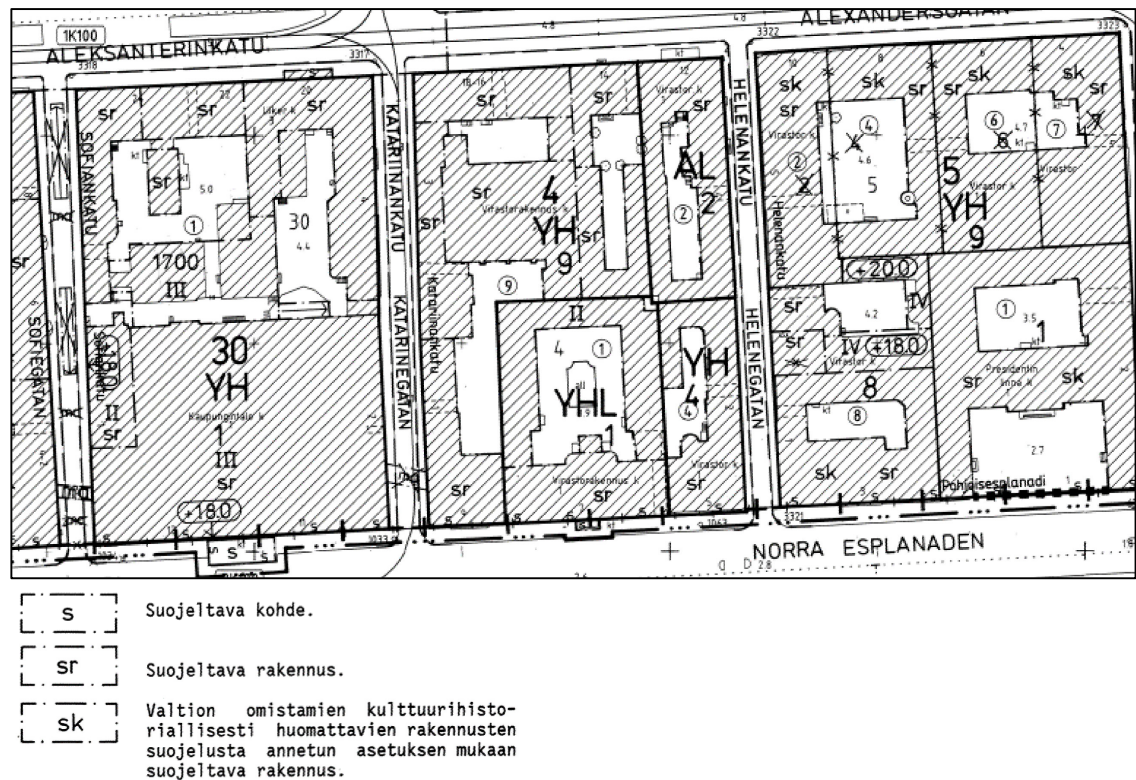


Kuva 16. Välipohjan purkutöiden aikana ei ainoastaan menetetä vanhaa välipohjarakennetta vaan aiheutetaan rakennukselle ja ympäröiville rakenteille merkittäviä jäte- ja pölyhaittoja sekä mahdollisesti rakenteellisia vaurioita.

3.2 Lainsäädäntö

Joidenkin rakennusperinnön kannalta arvokkaiden rakennusten säilyttämistä varjellaan suojelupäätöksillä. Suojelupäätökset on määritetty lailla tai kaavamerkinnöillä. Jopa perustuslaissa on määritetty, että vastuu ympäristöstä ja kulttuuriperinnöstä kuuluu kaikille. (Kivilaakso 2010.)

Maankäyttö- ja rakennuslaissa on säädetty rakennustaiteen ja kaupunkikuvan vaalimisesta seuraavaa: ”Rakentamisessa, rakennuksen korjaus- ja muutostyössä ja muita toimenpiteitä suoritettaessa samoin kuin rakennuksen tai sen osan purkamisessa on huolehdittava siitä, ettei historiallisesti tai rakennustaiteellisesti arvokkaita rakennuksia tai kaupunkikuvaa turmella”. Maankäyttö- ja rakennuslaki toimii kaavoittamisen pohjana. Rakennussuojelu on voitu ottaa huomioon kunnan alueella toimivassa yleiskaavassa tai yksityiskohtaisemmassa asemakaavassa. Suojelu tehdään kaavoissa kaavamerkinnöin (Kuva 17). Kaavamerkintöjä selitetään ja tarkennetaan joskus hyvinkin yksityiskohtaisesti kaavaan liitettyssä sanallisessa osassa. (Kivilaakso 2010.)



Kuva 17. Ote Helsingin kaupungin asemakaavasta 1890.

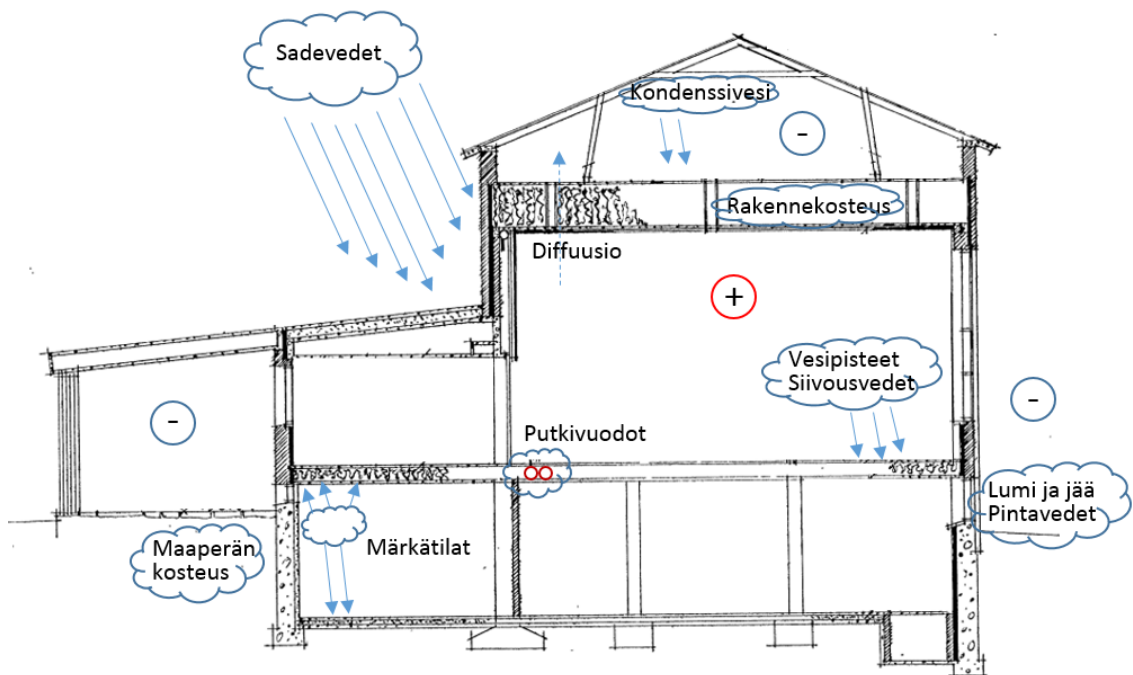
Rakennusperinnön suojelusta laaditun lain mukaan suojelun kohteena voi olla rakennus, rakennelma, rakennusryhmä tai jokin rakennettu alue, joka on merkittävä rakennushistorian, -taiteen, -tekniikan, ympäristöarvojen tai rakennuksen käytön tai käyttöön liittyvien tapahtumien kannalta. Suojeluun on voitu määrittää myös jokin rakennuksen osa. Rakennusperinnön säilyttämistä edistävät ja valvovat elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset, kaupunginmuseot sekä Museovirasto. Museovirasto toimii lisäksi asiantuntijana rakennusperinnön suojeluun liittyvissä asioissa. Rakennuksen tai sen osan merkittävyyden ja suojelun perusteeksi määritellään laissa esimerkiksi rakentamistavan alkuperäisyys ja näkyvissä olevat eri aikakausien rakenteet, materiaalit ja tyylipiirteet. (Laki rakennusperinnön suojelusta 4.6.2010/498.)

4 Rakenteen vaurioituminen

Kaksoislaattapalkiston yhteydessä rakenteen vaurioituminen tarkoittaa lähes aina kotelo-tiloissa olevan luonnonmateriaalin aiheuttamaa ongelmaa sisäilman laadulle. Tässä työssä keskitytään ainoastaan rakenteen kotelotiloissa olevien täyttömateriaalien ja muottilautojen aiheuttamaan riskiin sisäilman laadulle ja jätetään mahdolliset muut rakenteelliset ongelmat tutkimuksen ulkopuolelle. Tässä kappaleessa käsitellään kaksoislaattapalkistorakenteen kotelotiloissa olevan luonnonmateriaalin kosteus- ja mikrobivaurioitumista.

4.1 Kosteuden kulkeutuminen

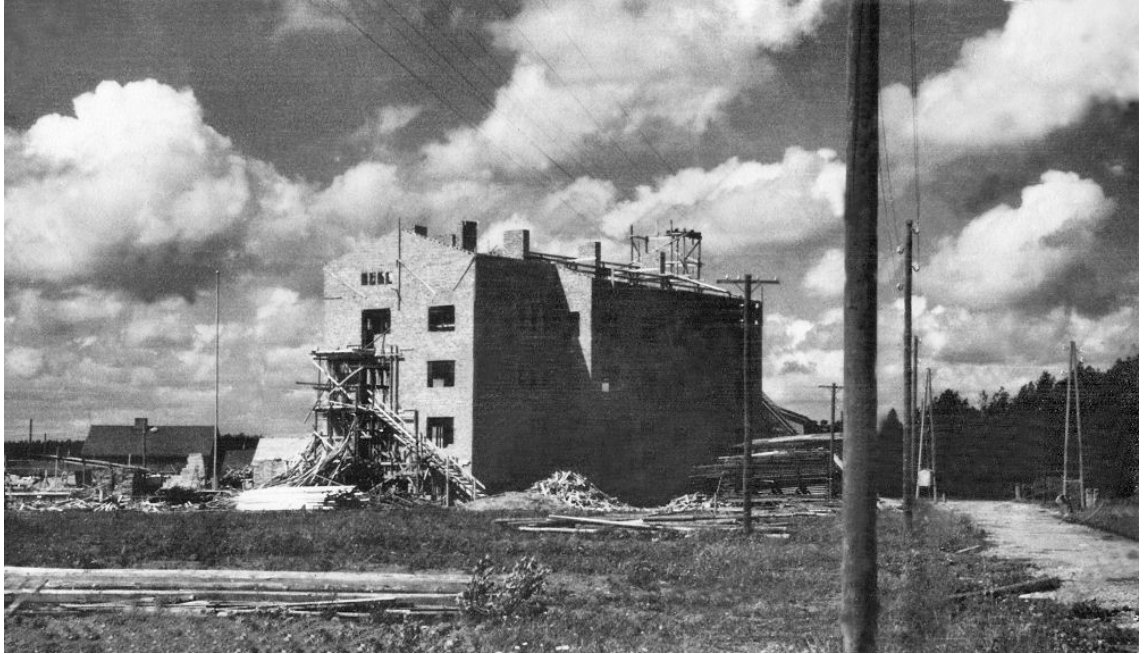
Rakennukseen, rakenteisiin ja rakennusmateriaaleihin kulkeutuu vettä sekä rakennuksen ulko- että sisäpuolelta. Rakennuksen ulkopuolisia kosteuslähteitä ovat esimerkiksi sadevesi, lumi, jää, pinta-, roiske- ja pohjavesi sekä maaperästä kapillaarisesti nouseva kosteus. Sisäpuolisia kosteuslähteitä taas ovat rakennuskosteus, putkivuodot, huolto- ja käyttövedet, sisäilman kosteus ja kylmille pinnoille tiivistyvä kondenssivesi. (Leivo 1998.) Suurin osa näistä kosteuslähteistä voi vaikuttaa myös betoniseen kaksoislaattapalkistorakenteeseen riippuen, onko rakenne ala-, väli- vai yläpohjarakenteena. Kuvassa 18 on esitetty mahdollisia kaksoislaattapalkistoon liittyviä kosteuslähteitä.



Kuva 18. Rakennuksen kosteuslähteitä, jotka voivat vaikuttaa kaksoislaattapalkistorakenteeseen.

Kaksoislaattapalkiston täyttömateriaalin ja muottilautojen vaurioitumisen kannalta rakennuskosteudella on suuri merkitys. Vaikka rakenteet ovat yli viisikymmentä tai jopa yli sata vuotta vanhoja, eikä rakennuskosteutta rakenteissa enää ole, ovat rakenteen sisällä olevat muottilaudat kastuneet jo rakennusaikana. Muottilaudat asennettiin rakenteeseen joskus jo valmiiksi hyvin kasteltuina, jotta betonivalun kosteus ei imeytynyt muottitavaraan ja heikentänyt betonilaatua (Varjo 1939). Lisäksi palkkien ja ylälaatan valamisen aikana vettä on kulkeutunut rakenteeseen märän betonivalun ja betonin jälkihoitokastelun yhteydessä. Aikakaudelle tyypillisesti sääsuojia ei rakennustyömailla käytetty, jolloin välipohjat ovat olleet suoraan sään armoilla pitkiäkin aikoja. Tästä on hyvänä esimerkkinä aiemmin esitetty kuva 1 saksalaisesta rakennustyömaasta vuodelta 1921 ja kuva 19 Kuva

19, joka esittää suomalaista kerrostalon rakennustyömaata vuonna 1949. Tiiviin betonikotelon sisällä märkien muottilautojen kuivuminen on ollut hidasta, jolloin mikrobivaurion syntyyn on ollut otolliset olosuhteet. Täytemateriaalina välipohjien kotelotiloissa on pyritty käyttämään kuivaa ainesta (Helin 1915). Täytemateriaalikin on kuitenkin voinut kastua rakennusaikana rakenteessa olevan kosteuden vuoksi.



Kuva 19. Kuvassa on kerrostalon rakennustyömaa vuodelta 1949, jolloin rakennusaikana ei käytetty minkäänlaista sääsuojausta. © Jaakko Harjuvaara (Harjuvaara 2013.)

Rakennuskosteutta on voinut päästä rakenteeseen myös rakennusajan jälkeen esimerkiksi uusien valujen, tasoitusten tai muurausten yhteydessä. Jossain tapauksissa kaksoislaattapalkistorakenteen täyttöihin ja muottimateriaaleihin on päässyt timanttiporaamisen yhteydessä käytettyä jäähdytysvettä, kun rakenteeseen on tehty läpivientejä tai rakeneavauksia (Peltola 2008).

Rakennuskosteuden lisäksi muiden kosteuslähteiden kannalta riskialttiita paikkoja kaksoislaattapalkistolle ovat wc- ja märkätilat sekä vesipisteiden, vesiputkien tai ulkoseinien läheisyydellä olevat alueet. Jos rakennetta on ylä- tai alapohjana, voi diffuusiolla lämpimämmästä tilasta kylmempään siirtyvä kosteus aiheuttaa veden kondensoitumista rakenteen sisään. Joskus rakenteen sisään on asennettu vesi- tai viemäriputkia, jotka vuotaessaan aiheuttavat rakenteeseen kosteuslähteen. Vuoto huomataan harvoin ajoissa putkien ollessa rakenteen sisällä piilossa. Varsinkin julkisissa rakennuksissa myös runsaat siivousvedet ovat voineet aiheuttaa rakenteeseen ylimääräistä kosteutta. (Peltola 2008.)

Kosteusvauriosta puhutaan silloin, kun rakenteeseen tai materiaaliin kohdistuu sietokyvyn ylittävä kosteusrasitus. Kosteus ei sellaisenaan vaurioita orgaanistakaan ainetta, mutta on edellytys mikrobivauriolle. Jos kosteusvaurio kestää riittävän pitkään, voi rakenteeseen tai materiaaliin aiheutua mikrobivaurio. Jos kosteuden vaikutusaika on ollut lyhyt vaurioitumisen kannalta, voi materiaali olla kuivumisen jälkeen vaurioitumaton. (Kokko ym. 1999.) Vesivuodon sattuessa kuivaamiseen ja korjaamiseen on useimmiten vähintään pari viikkoa aikaa ilman merkittävää homehtumisriskiä varsinkin pelkän puuaineksen tapauksessa (Reiman 1998).

4.2 Mikrobivaurio

Mikrobit ovat mikroskooppisen pieniä, silmin havaitsemattomia eliöitä, joihin lukeutuvat muun muassa virukset, bakteerit, sienet, levät ja alkueläimet. Mikrobit pystyvät muuntumaan ympäristöolosuhteiden mukaan ja niillä on erinomainen lisääntymiskyky. Rakenteen kosteusvaurioon liitetään mikrobeista yleensä bakteerit ja sienet, joihin kuuluvat muun muassa hiivat ja homeet. Home on yleiskielessä nimitys rihmastoa muodostavalle sienelle, joka näkyy kasvualustallaan nukkamaisena pesäkkeenä. Homeet kasvavat tyyppillisesti elatusaineen pinnalla ja toimivat alkuvaiheen hajottajina. Puun pinnassa oleva home edesauttaa myös varsinaisten lahottajasienien kasvua puussa. (Reiman 1998a.)

Käsitys kosteus- ja homevaurion vaikutuksesta ihmisen terveyteen on muuttunut ajan myötä. Alun perin kun ihmisten selittämätön oireilu liitettiin rakennuksista peräisin olevaksi, syyksi todettiin mikrobikasvusto rakenteissa ja rakennusmateriaaleissa sekä niissä kasvavat mikrobisuvut ja -lajit. Myöhemmin todettiin, että sisäilmassa ja rakennusmateriaaleissa olevilla homesienillä ja bakteereilla ei olekaan selvää yksiselitteistä yhteyttä oireisiin ja sairauksiin. Tutkimusten mukaan esimerkiksi astma näyttäisi liittyvän kosteus- ja homevauriorakennuksiin, mutta tiedossa ei ole, mikä astman näissä rakennuksissa aiheuttaa. Nykytietämyksellä ei ole pystytty löytämään yksiselitteisesti ihmisten rakennusperäisiä oireita selittäviä mikrobeja. Tämä tekee vaurioiden tutkimisesta ja korjausten rajaamisesta vaikeaa. (Reijula ym. 2012.)

Tässä työssä ei käydä enempää läpi kosteus- ja homevaurioihin liitettyjä oireita ja sairauksia. Työn kannalta oleellista on huomioda, että nykynäkemyksen mukaan rakenteissa ja rakennusmateriaaleissa olevat home-, hiiva- ja bakteerikasvustot ovat terveydelle haitallisia, mikäli rakennuksen käyttäjä altistuu niistä peräisin oleville epäpuhtauksille. Mikrobikasvustoista irtoavat epäpuhtaudet ovat hiukkasia, itiöitä, hajuja, toksineja ja muita haihtuvia yhdisteitä. Aktiivisen mikrobikasvuston lisäksi lepotilassa olevien ja kuolleiden mikrobien itiöt, sienirihmaston kappaleet sekä mykotoksiinit ovat nykytiedon mukaan yhtä lailla terveydelle haitallisia. (Reijula ym. 2012.)

Rakennuksen käyttäjän haitallista altistumista voidaan pitää todennäköisenä seuraavissa tilanteissa:

- Rakennuksessa on näkyvä kosteus- ja homevaurio sisäpinnoilla.
- Mikrobikasvustoa todetaan materiaaleissa tai ympäröivissä rakenteissa.
- Poikkeavaa altistetta todetaan huonetilan ilma- tai pölynäytteissä.
- Käytettävät tilat ovat selvästi alipaineisia.
- Vaurioituneesta tilasta tai rakenteesta on ilmayhteys sisäilmaan. (Reijula ym. 2012).

Mikrobivaurion esiintymistä ja toteamismenetelmiä rakennuksessa, rakenteissa ja materiaaleissa käydään läpi seuraavassa kappaleessa tutkimusmenetelmien yhteydessä.

5 Tutkimusmenetelmät

Useissa rakennuksissa on ilmennyt laajojen peruskorjausten jälkeen sisäilmaongelmiin liittyviä haittoja, vaikka ongelmia ei ennen korjauksia olisi ollutkaan. Tämä on usein johdunut kohteen ja rakenteiden riittämättömistä tutkimuksista ennen korjaussuunnittelun aloittamista. Korjausratkaisut on tehty puutteellisin lähtötiedoin, jolloin kaikkia rakennuksen riskejä ei ole osattu ottaa huomioon. Korjaushankkeessa tulisi aina panostaa lähtötietojen tai niiden puutteiden perusteella kohdistettuihin tutkimuksiin ennen korjausten teknisen toteutuksen päättämistä. (Tähtinen ym. 2013.)

Ennen tutkimusten määrittelyä lähtötietoina tulisi perehtyä:

- rakennuksen alkuperäisiin suunnitelmiin
- aiemmin toteutettuihin korjauksiin ja tutkimuksiin
- tilojen aiempiin, nykyisiin ja tuleviin käyttötarkoituksiin
- vanhoihin ja nykyisiin vesivuotoihin ja -vaurioihin.

Kun määritellään rakenteiden kosteus- ja homevauriota, tutkimusten tärkeimpänä lähtökohtana täytyy olla terveydellinen näkökulma. Tällöin pelkästään rakenteiden ja materiaalien tekninen tarkastelu ei ole riittävä, vaan tarkastelun täytyy sisältää myös rakennuksen käyttäjän altistumistodennäköisyyden arviointi. (Reijula 2012.) Tässä kappaleessa käydään läpi tutkimusmenetelmiä, joita voidaan käyttää kaksoislaattapalkiston aiheuttaman sisäilmariskin ja sopivien korjausmenetelmien arviointiin.

5.1 Aistinvarainen arviointi

Aistinvaraisella arvioinnilla tarkoitetaan silmämääräisesti, käsin tunnustellen sekä hajun perusteella rakenteiden ja materiaalien selvittämistä sekä niiden kunnon arvioimista. Vaikka mikrobivauriota ei aina voida havaita aistinvaraisin keinoin, ovat haju ja kotelotiloissa olevan materiaalin ulkonäkö hyvä lähtökohta arvioida materiaalin vaurioitumista. Joissain tapauksissa mikrobivaurion voi havaita selkeästi pelkästään aistinvaraisesti kuten kuvissa 20 ja 21. Mikrobikasvusto voi esiintyä värimuutoksena, rihmastona rakenteen tai materiaalin pinnalla, puuterimaisena, pölymäisenä tai pistemäisenä kasvustona. Lisäksi käsin tunnustellen voidaan arvioida materiaalissa olevaa kosteutta ja puun lahovauriota. (Talvitie 2013.)



Kuva 20. Kaksoislaattapalkistorakenteen kotelotilasta otetussa muottilaudassa on silmämääräisesti havaittava mikrobikasvusto ja lahovaurio.



Kuva 21. Kotelotilan ylälaattaa vasten olevissa muottilautoissa on runsaasti mikrobikasvustoa.

Mikrobikasvuston esiintyminen voidaan huomata myös maakellarimaisesta tai homeen hajusta. Hajun aiheuttaa mikrobeista haihtuvat aineenvaihduntatuotteet. Kaksoislaattapalkistorakenteen yhteydessä maakellarimaisen hajun voi aistia huonetilassa, jos rakenteen kotelotiloissa oleva materiaali on mikrobivaurioitunut ja vaurioitunut materiaali on ilmayhteydessä huonetilaan. Pelkän huonetilassa olevan hajun perusteella voidaan harvoin kuitenkaan päätellä, mistä haju tulee. Nykymenetelmin hajua ei voida luotettavasti mitata ja subjektiivinen hajuaisti väsyä hyvin helposti (Aatola 2007). Jos materiaalissa tai rakenteessa havaitaan selkeää mikrobivaurioon viittaavaa hajua, voidaan se todeta vaurioituneeksi. Mikrobivauriota ei kuitenkaan voida täysin sulkea pois, jos hajua ei ole aistittavissa. (STM 2008.)

5.1.1 Rakenneavaus

Kaksoislaattapalkiston aistinvarainen tarkastus täytyy tehdä rakenteita rikkovin keinoin. Rakenteita rikkovat keinot ovat ainoa tapa selvittää varmuudella rakennetyyppi, rakenteen kotelotiloissa olevat materiaalit ja muottilautojen olemassa olo. Helpoin ja luotettavin keino arvioinnin tekemiseksi on avata rakenne. Rakenneavauksen kautta kotelotiloihin olisi hyvä mahtua vähintään hyvälaatuinen kamera, jolla kotelotilan materiaalin kunto voidaan dokumentoida. Avauksen kautta tulisi saada tarvittaessa myös materiaalinäyte täytemateriaalista tai muottilautoista. (Palviainen 2015.)

Rakenneavaus voidaan tehdä osittain palkin kohdalle kuten kuvassa 22, jolloin samalla saadaan selville palkin paksuus. Jos rakenneavaus halutaan varmuudella tehdä ainoastaan rakenteen kotelotilan kohdalle, voidaan palkkien sijaintia määrittää ennen avauksen tekoa vasaralla koputtelemalla, betonipeitemittarilla palkkien raudoitusta paikantaen tai poraamalla rakenteen laattaan paikannusreikiä (Mikkola 2000).



Kuva 22. Rakenneavaus on tehty osittain kaksoislaattapalkiston palkin kohdalle.

Rakenneavauksen tekeminen voi olla haitallista varsinkin tilojen ollessa käytössä tai rakenteen ollessa suojeltu esimerkiksi siinä olevan maalauksen osalta. Jos rakenneavaus tehdään käytössä olevissa tiloissa, täytyy tilassa oleva irtaimisto siirtää ja suojata, ja avauskohta osastoida. Avaukset olisi hyvä tehdä kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purkutöitä vastaavalla tavalla, jotta pölyt ja muut epäpuhtaudet eivät leviä muualle rakennukseen. (Reijula 2012.)

Rakenneavaukset kaksoislaattapalkistoon on tehtävä siten, että rakenteita ei kastella avausten yhteydessä, jotta rakenteen täyttömateriaali ei vaurioidu. Jos avaukset tehdään timanttiporaamalla (Kuva 23), ei porauksessa tule käyttää vettä. Usein avaukset kannattaakin tehdä piikkaamalla (Kuva 24). Myös avauksia suljettaessa rakenteeseen voi päästä vettä, jos avaukset suljetaan uudella betonivalulla.



Kuva 23. Rakenneavaus on tehty timanttiporaamalla kaksoislaattapalkiston ylälaattaan.



Kuva 24. Kaksoislaattapalkistovälipohjan ylälaattaan piikkaamalla tehty rakenneavaus Rakenteen kotelotilassa on täyttömateriaalina kutterinlastua, betoni- ja laastimurskaa.

Rakenneavaus on helpompi ja nopeampi tehdä rakenteen ohueen alalaattaan, mutta tutkimusten ja pölynhallinnan kannalta avaus on mielekkäämpää tehdä ylälaatan kautta etenkin jos rakenteen kotelotiloissa on täyttömateriaalia. Kuvassa 25 rakenneavaus on tehty rakenteen alalaatan kautta, minkä jälkeen havaittiin avauksessa olevan täytemateriaalina herkästi pölyävää lentotuhkaa.



Kuva 25. Rakenneavaus on tehty ohueen alalaattaan. Täytemateriaalina avauksen kohdalla oli kuivaa, herkästi pölyävää lentotuhkaa.

5.1.2 Arviointi porareiän kautta

Täytemateriaalin ja muottilautojen olemassa oloa ja kuntoa voidaan arvioida aistinvaraisesti myös rakenteen ala- tai ylälaattaan tehdyn porareiän kautta. Mikrobiperäinen haju voidaan aistia porareiän kautta ja silmämääräinen arviointi onnistuu jossain määrin endoskooppia apuna käyttäen. Porareiän kautta aistinvarainen arviointi tehdään esimerkiksi silloin, kun rakenteen suurempi rikkominen ei ole mahdollista rakennuksen käytön tai rakenteen suojelun vuoksi. Porareikäavauksia voidaan käyttää hyödyksi myös varsinaisia rakenneavauskohtia määrittäessä. (Palviainen 2015.)

Endoskooppi on tarkistuskamera, jossa kamera on tähystimen päässä. Diplomityön yhteydessä endoskooppia testattiin kahdessa kohteessa kaksoislaattapalkistojen kotelotiloissa olevan materiaalin kunnon arvioimisessa. Tutkimuksessa oli käytössä kaksi eri tähystintä, joiden valotehot olivat poikkeavat. Endoskoopin avulla rakenteen tai materiaalin vaurioitumisen arvioiminen ei ollut yhtä tarkkaa kuin suuremmasta rakenneavauksesta tehty silmämääräinen arviointi. Endoskoopilla tehdyn silmämääräisen arvioinnin tarkkuuden todettiin riippuvan laitteen valotehosta ja kameran tarkkuudesta. Joskus tarkastusta voidaan mahdollisesti tehostaa näyttämällä valoa toisesta porareistä tehokkaalla taskulampulla.

Kuva 26 ja kuva 27 ovat endoskoopilla otettuja kuvia kaksoislaattapalkistorakenteisesta välipohjasta. Endoskooppikuvien perusteella on vaikea varmuudella määrittää mahdollinen mikrobikasvusto, varsinkin jos kasvustoa on vähän. Materiaalit näyttävät kuvissa kuivilta ja vauriottomilta, mutta todellisuutta on mahdoton varmuudella arvioida pelkästään endoskooppikuvien avulla.



Kuva 26. Kaksoislaattapalkistovälipohjan kotelotila ja muottilaudat endoskoopin avulla kuvattuna rakenteen ylälaattassa olevan porareian kautta. Keltainen nuoli osoittaa rakenteen alalaattaa. Kuvassa näkyvät muottilaudat vaikuttavat hyväkuntoisilta, eikä lahovauriota ole havaittavissa.



Kuva 27. Kaksoislaattapalkistovälipohjan kotelotila endoskoopin avulla kuvattuna rakenteen ylälaattassa olevan porareian kautta. Ylälaattaa vasten olevat muottilaudat ovat tummuneet (punainen nuoli) ja lautojen välissä näkyy vaaleaa ainetta (keltainen nuoli), joka on luultavasti betonivalua.

5.2 Mikrobiologisen näytteen analysointi

Nykytekniikalla mikrobien aiheuttamat muutokset materiaaleissa ja rakenteissa pystytään havaitsemaan aiempaa tarkemmin mikrobiologisella analyysillä. Toistaiseksi ei kuitenkaan ole olemassa luotettavia ja yksiselitteisiä määritelmiä tai raja-arvoja siitä, milloin kyseessä on materiaalien tai rakenteen luonnollinen ominaisuus ja milloin vaurioituminen. (Kokko ym. 1999.) Aiemmin normaalina tai harmittomana pidettyä ominaisuutta voidaan nykytietämyksen varjolla pitää syynä rakenteen purkamiselle.

Mikrobiologinen analysointi voidaan tehdä pinta-, materiaali- tai ilmanäytteelle. Tässä kappaleessa käsitellään näytteenotto- ja analysointimenetelmiä, nykyisin käytettyjä kosteusvaurioon viittaavia analyysituloksia ja mikrobiologisesta analysoinnista saatujen tuloksien käyttösoveltuvuutta kaksoislaattapalkistorakenteiden tutkimisessa.

Mikrobiologisten määritysten analyysimenetelmänä käytetään usein viljelyä, koska sille on määritetty mikrobipitoisuuteen ja -lajistoon perustuvat tulkintaohjeet. Viljelymenetelmä on kuitenkin verrattain hidasta. Analyysivastauksen saamiseen menee aikaa, sillä mikrobien viljelyn täytyy kestää yhdestä kahteen viikkoon. Viljelyanalyysillä mitataan elinkykyisten mikrobien määrää, joten kuolleita ja vaurioituneita mikrobeja ei saada esiin viljelytekniikalla. (Putus 2014.) Lisäksi näytteen analysointi vaatii pitkää kokemusta ja ammattitaitoa, eivätkä tulokset silloinkaan ole yksiselitteisiä (Valkonen ym. 2015).

Viljelymenetelmän rinnalle on kehitetty qPCR-menetelmä, jolla saadaan esiin mikrobisolujen DNA. Menetelmän hyötynä on pidetty sen nopeutta ja kykyä havaita myös kuolleiden ja kuivuneiden mikrobisolujen DNA. Menetelmällä havaitaan kuitenkin ainoastaan niitä mikrobeja, joita valitaan tutkittavaksi. Tällä menetelmällä saaduille tuloksille ei ole vielä ohjearvoja, joihin tulosten tulkintaa voisi perustella. QPCR-tekniikalla saatuja tuloksia ei voida suoraan verrata viljelyyn perustuvien menetelmien ohjearvoihin. Viljelymenetelmin saadaan esille joitain mikrobeja, joita ei qPCR-menetelmällä saada, ja vastaavasti qPCR-menetelmällä saadaan esiin mikrobeja, joita ei viljelymenetelmin saada esiin. (Putus 2014.)

Mikrobien normaalipitoisuuksille on esitetty raja-arvoja useaan otteeseen. Määrittelyä vaikeuttaa ilmiöön liittyvä suuri hajonta, useat eri mittausmenetelmät ja nykytiedon rajallisuus. (Kokko ym. 1999.) Tällä hetkellä laboratorioanalyysien tulosten tulkintaa varten on käytössä Asumisterveysohjeessa (2003) määritetyt viljelymenetelmällä tehtyjen analyysitulosten viitearvot, joiden perusteella arvioidaan rakenne tai materiaali kosteusvaurioituneeksi tai normaalia vastaavaksi. Nämä raja-arvot koskevat kuitenkin asuinrakennuksia eivätkä ole täysin sopivia muihin rakennuksiin, kuten toimistoihin tai koulu- ja päiväkotirakennuksiin. Asumisterveysohjeesta poikkeavia raja-arvosuosituksia on olemassa muiden kuin asuntokohteiden osalta etenkin ilmanäytteiden tulkintaa varten. (Reiman 2015a.)

Asumisterveysoppaassa (2008) mikrobinäytteestä viljelymenetelmällä saaduille mikrobipitoisuuksille on määritetty viitearvoja esimerkiksi sieni-itiö-, bakteeri- tai aktinomykeettipitoisuudelle. Lisäksi rakennuksessa olevan kosteusvaurion toteamiseksi on määritetty useita indikaattorimikrobeja. Näitä mikrobeja on useassa tutkimuksessa todettu esiintyvän kosteusvaurioituneissa rakennuksissa tai materiaaleissa ja harvemmin vauriottomissa vertailunäytteissä. Indikaattorimikrobien havaitseminen mikrobinäytteessä tulkitaan viittaavan rakennuksen tai materiaalin kosteusvaurioon.

Myös näytteen vallitsevasta mikrobilajistosta voidaan arvioida rakennuksen tai materiaalin kosteusvauriota. Rakennusten sisäilma-, materiaali- ja pintanäytteissä esiintyy tavallisimmin *Penicillium*-, *Aspergillus*- ja *Cladosporium*-sienisukuja ja hiivoja. Yleisin sisäilmasta löytyvä sienisuku on *Penicillium*. Sisäilmassa esiintyy myös *Aspergillus*-lajeja, mutta tavallisesti näiden pitoisuus on *Penicillium*-lajien pitoisuutta pienempi rakennuksessa, jossa ei ole kosteusvauriota. Jos jokin muu sienisuku kuin *Penicillium* havaitaan sisäilmanäytteessä vallitsevaksi, voidaan tulosta pitää epätavanomaisena. Ulkoilman yleisin sienisuku on *Cladosporium*, jota voi esiintyä runsaina pitoisuuksina myös sisäilmassa varsinkin syksyllä ja kesällä. Toisaalta *Cladosporium* kasvaa myös kostuneissa rakennusmateriaaleissa, joten talvella esiintyvä suuri pitoisuus voi merkitä kosteusvauriota. *Cladosporium* ja *Penicillium* ovat mikrobeja, jotka alkavat ensimmäisinä kasvaa kastuneen materiaalin pinnalla. Jos kosteusvaurio on pitkäkestoinen, alkaa myös muiden mikrobien kasvu. (STM 2008, Reiman 2015a, Reiman 2015b.)

5.2.1 Materiaalinäyte

Materiaalinäyte on rakenteesta tai rakennusmateriaalista puhtailla välineillä otettu näytepala, jonka mikrobipitoisuus analysoidaan laboratoriossa. Mikrobiologisen näytteen ottaminen ja analysointi on aina ongelmallista eikä yksiselitteisiä tuloksia näytteestä saada. Suurin ongelma materiaalinäytepalassa on materiaalin ja sen mikrobikasvuston vaihtelevuus. Vaikka samasta näytepalasta tehtäisiin kaksi eri analyysia, voivat tulokset vaihdella johtuen siitä, että näytepala ei ole tasalaatuinen. (Valkonen 2015.) Mikäli materiaalinäytteessä todetaan tyypillisiä vaurioon viittaavia homesukuja tai -pitoisuuksia, otetaan terveysriskin arvioinnissa huomioon, onko kasvupaikasta yhteys sisäilmaan. (Putus 2014.)

Kaksoislaattapalkiston kotelotilojen täyttömateriaalista ja muottilautoista voidaan ottaa materiaalinäyte tukemaan tai selvittämään aistinvaraista arviointia. Materiaalinäytteen tulos riippuu paljon näytepalasta ja mistä kohdasta kotelotilaa se otetaan. Rakenteen betonista ylälaattaa vasten olevassa muottilautapalassa on luultavasti erilainen mikrobikasvusto ja -pitoisuus kuin paksun täytemateriaalikerroksen keskeltä otetusta kutterinlastusnäytepalassa, mistä johtuen materiaalinäytteitä olisi suositeltavaa ottaa useita samasta kotelotilasta. (Palviainen 2015).

5.2.2 Pintanäytteet

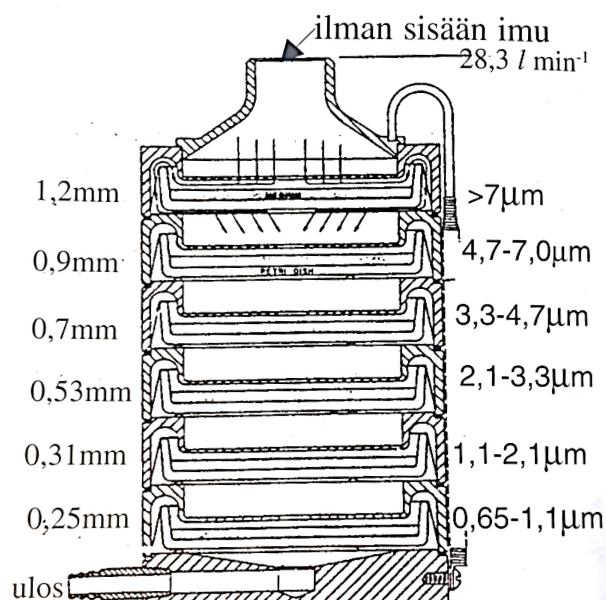
Rakennusmateriaalien pinnalla olevaa mikrobikasvustoa voidaan arvioida pintanäytteellä. Pintanäyte otetaan 100x100 mm² alueelta steriiliin nesteeseen kostutetulla vanupuikolla. Vanupuikolla pyyhitään näytteenottopinta ja siirrostetaan näyte sivelemällä suoraan petrimaljalla olevalle elatusaineelle. Toinen vaihtoehto on laittaa vanupuikko näytteenoton jälkeen puskuriliuokseen, josta tehdään laboratoriossa laimennossarja. Laimennoksesta otetaan mikrobien kasvatusta varten pieni näyte, joka sivellään elatusaineelle. Elatusaineella olevia näytteitä kasvatetaan yleensä noin viikon ajan, minkä jälkeen pesäkkeiden määrä lasketaan ja pesäkkeet tunnistetaan. Tulosten analysointia varten vastaavasta rakenteesta otetaan vertailunäyte pinnasta, joka tiedetään vaurioitumattomaksi. (Reiman 1998b.)

Pintanäytteitä otetaan kovien rakennusmateriaalien pinnoilta. Pintanäyte on perusteltua ottaa, kun epäillään vaurion olevan aivan rakenteen pinnassa tai kun rakenteen pintaa ei haluta rikkoa. (Talvitie 2013.) Kaksoislaattapalkiston kunnon ja vaurioituneen materiaalin kartoitukseen pintanäytteiden otto ei tuo lisäarvoa, koska mahdollisesti vaurioituneet materiaalit ovat rakenteen sisällä. Rakenteen kotelotiloissa olevasta materiaalista voidaan ottaa materiaalinäyte pintanäytteen sijaan.

Kaksoislaattapalkiston yhteydessä pintanäytteenotosta voi kuitenkin olla hyötyä korjausvaiheessa. Pintanäytteiden perusteella voidaan arvioida rakenteen kotelotilojen betonipinnoissa olevaa mikrobivauriota, kun kotelotilat ovat auki ja pinnat paljaana. Pintanäytteiden tulosten perusteella on joissain tapauksissa arvioitu pintojen lisäpuhdistuksen tai desinfioinnin tarvetta. Näytteiden laboratorioanalysointi kuitenkin vie aikaa suhteellisen kauan, varsinkin jos työmaa ja korjaustyöt ovat käynnissä. Lisäksi täytyy muistaa, että edes desinfioinnilla ei betonipinnasta saada täysin steriiliä (Palviainen 2014).

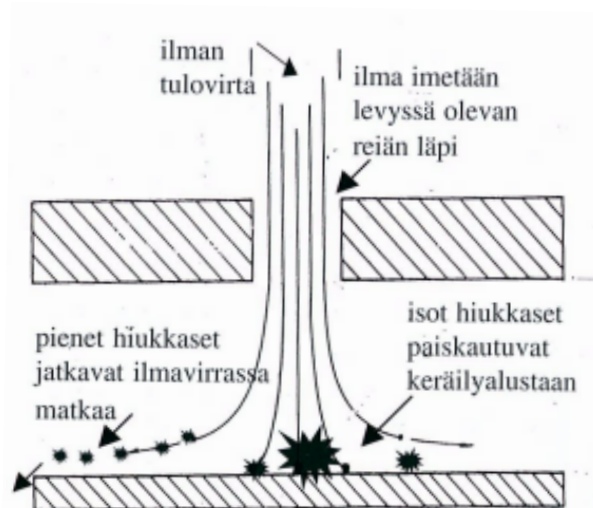
5.2.3 Ilmanäytteet

Ilmanäytteenottoon on olemassa useita menetelmiä ja keräimiä. Eri menetelmillä otettujen näytteiden tulokset eivät kuitenkaan ole keskenään vertailukelpoisia, koska tulokset voivat mikrobipitoisuuden perusteella olla jopa kymmenkertaisia toisiinsa nähden. (Romano ym. 2014.) Yleisimmin sisäilman mikrobinäytteitä kerätään laskeumamaljoille kuusivaiheimpaktorikeräimellä eli Andersen-keräimellä (Kuva 28) (Salkinoja-Salonen ja Andersson 2002).



Kuva 28. Kuusivaiheinen Andersen keräin ilman mikrobiologisen puhtauden tutkimiseen. Kuvassa olevan keräimen vasemmalla puolella olevat luvut, ovat reikälevyjen reikien koot ja oikealla puolella hiukkaskoot, jotka kertyvät reikälevyn alapuoliselle maljalle. (Salkinoja-Salonen ja Andersson 2002.)

Andersen-keräin koostuu kuuden reikälevyn muodostamasta tornista. Kunkin reikälevyn alle asetetaan elatusainetta sisältävä petrimalja. Reikälevyjen reiät ovat jokaisessa levyssä erikokoiset siten, että suurimmat reiät omaava levy jää tornissa ylimmäksi. Keräin kiinnitetään alaosastaan pumppuun, jolla imetään ilmaa keräimen läpi 28,3 l/min virtausnopeudella. Suuret hiukkaset kulkevat pienemmällä nopeudella hiukkasten inertiaasta johtuen ja jäävät ylimpään petrimaljaan kun taas pienemmät hiukkaset jatkavat matkaa alemmille tasoille. Tällä tavalla ilmassa olevat hiukkaset saadaan eroteltua aerodynaamisen kokonsa perusteella erillisille alustoille. (Salkinoja-Salonen ja Andersson 2002.)



Kuva 29. Impaktorikeräimen periaate. Kun ilma imetään metallilevyn reikien läpi, isot hiukkaset jäävät alla olevaan näytemaljaan ja pienet hiukkaset kulkevat ilmavirran mukana eteenpäin seuraaville maljoille. (Salkinoja-Salonen ja Andersson 2002.)

Impaktorikeräimen käyttö ilman mikrobipitoisuuden määrittämisessä on välttämätöntä hyödyllisen tuloksen saamiseksi. Jos ilmanäytteet kerättäisiin suoraan laskeumamaljalle ilman keräintä, laskeutuu näytemaljalle ainoastaan halkaisijaltaan 5 µm suuremmat hiukkaset. Sitä pienemmät hiukkaset leijuvat ilmassa pitkään tai eivät laskeudu ollenkaan. Hengittäessä halkaisijaltaan alle 5 µm hiukkaset kulkeutuvat keuhkorakkuloihin asti kun taas sitä suuremmat hiukkaset jäävät nenän tai keuhkojen ylempien osien limakalvoihin. Tämän vuoksi pienemmät hiukkaset ovat terveydelle haitallisempia ja niiden tutkiminen sisäilman terveellisyyden kannalta hyödyllisintä. (Salkinoja-Salonen ja Andersson, 2002.)

Jos sisäilmanäyte otetaan sulan maan aikaan, otetaan samalla ulkoilmasta vertailunäyte. Jos sisäilmanäytteessä on samoja homelajeja ja -sukuja kuin ulkoilmänäytteessä ja määrät ovat selvästi ulkonäytettä matalammat, näyte ei viittaa sisälähteeseen. Jos sisäilmanäytteessä on korkeammat pitoisuudet kuin ulkonäytteessä, löydös viittaa homeen sisälähteeseen, vaikka valtalaji olisikin ulkoilmalle tyypillinen, erityisesti jos näytteessä on myös indikaattorisukuja. (Putus 2014.) Talvella maan ollessa jäässä, verrataan sisäilmanäytteen tuloksia suoraan Asumisterveysoppaassa määritettyihin ohjeisiin ja viitearvoihin.

Ilmanäytteitä voidaan ottaa huonetilasta kaksoislaattapalkiston aiheuttaman terveyshaitan arvioimiseksi ennen rakenteita rikkovia tutkimuksia ja arviointeja. Ilmanäytteellä voidaan arvioida, onko huonetilan ilmassa kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja. Positiivisesta tuloksesta ei kuitenkaan voida päätellä, tulevatko mikrobit sisäilmaan juuri kaksoislaattapalkiston kotelotiloista vai esimerkiksi jostain muusta rakenteesta. Toisaalta tuloksella, joka ei poikkea mikrobipitoisuuden tai -lajiston perusteella vauriottomasta tilasta, ei voida sulkea pois mahdollisuutta tilassa olevasta kosteus- tai mikrobivauriosta. Ilmanäytteen tulokset riippuvat monesta tekijästä eivätkä ole yksiselitteisiä. Tulokseen vaikuttaa vahvasti näytteenottomenetelmän ja -laitteiston lisäksi sisäilmaston ominaisuuksien vaihtelevuus sekä hiukkasten lähde ja lähteen laajuus. (Romano ym. 2014, Reiman ym. 1998b.)

Kauppi (2013) on insinöörityössään tutkinut mikrobivaurioituneen rakenteiden tutkimista rakenteesta otettavan ilmanäytteen avulla. Työssä on pohdittu, voidaanko rakenteesta olevaa mikrobivauriota havaita rakenteesta otettavalla ilmanäytteellä. Kauppi toteaa, että

menetelmällä saatuja tuloksia voidaan jossain tilanteissa käyttää apuna määrittäessä mikrobivaurion paikkaa ja mahdollisen vaurion vaikutusta sisäilmaan. Tällöin tulee kuitenkin ottaa ilmanäyte myös tutkittavasta huonetilasta.

Tämän työn yhteydessä otettiin kokeellisesti ilmanäytteitä myös kaksoislaattapalkiston kotelotiloista. Tähän menetelmään ja sillä saatuihin tuloksiin palataan tapaustutkimuksen yhteydessä kappaleessa 8.1.3.

5.3 Homekoira-arviointi

Homekoiraa käytetään mikrobiperäisten hajujen paikallistamiseen rakennuksissa. Homekoira koulutetaan merkitsemään kosteusvaurioituneissa rakennuksissa tyypillisesti kasvavia homeita, useimmiten kosteusvaurioon viittaavia indikaattorilajeja esimerkiksi *Acromonium*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus spp*, *Aspergillus versicolor* ja *Aktinomykeetti* eli sädesieni. Homelajeja on olemassa satoja erilaisia, joten kaikkia homelajeja ei yhdelle koiralle voida opettaa. Näin ollen koiralle tuntemattomat homelajit jäävät ilmaisematta. (Sagulin 2015.)

Homekoira kykenee ilmaisemaan pieniäkin pitoisuuksia, mutta merkitsee ainoastaan paikat, joista haju tulee voimakkaimmin. Koira ilmaisee ainoastaan hajun olemassa olon, joten pelkästään homekoiratutkimuksen perusteella ei voida tehdä johtopäätöksiä rakennuksen tai rakenteiden mikrobivauriosta. Rakenteissa tapahtuvien ilmavirtausten vuoksi hajun lähde voi olla myös ilmaistua paikkaa kauempana, joten mahdollista vauriokohtaa ei voida päätellä koiran ilmaisukohtien perusteella. Rakenteiden kunto sekä vaurio ja sen laajuus täytyy arvioida lisätutkimuksin. (Viitamäki 2013.)



Kuva 30. Homekoira on ilmaissut kohdan, jossa se aistii homeen hajua. (Sagulin 2015.)

Homekoira-arviointi täytyy tehdä ennen rakenteen kotelotiloihin tehtäviä reikiä tai rakeneavauksia, jotta suorat yhteydet kotelotiloihin eivät sekoita arviointia. Kaksoislaattapalkistorakenteiden yhteydessä homekoiraa voi olla perusteltua käyttää ilmavuotokohtien etsinnässä, mutta täyttömateriaalin kuntoa tai korjaus- ja purkulaajuutta ei voida homekoira-arvioinnin perusteella määrittää. Kaksoislaattapalkiston kotelotiloissa olevassa täyttömateriaalissa ja muottilauodoissa on suurella todennäköisyydellä mikrobipitoisuuksia, jotka homekoira pystyy havaitsemaan. Koira ei kuitenkaan pysty arvioimaan mikrobivauriota vaan ilmaisee kohdat, joissa mikrobihajut ovat voimakkaimmillaan eli tässä tapauksessa ilmayhteydet kotelotiloista huonetiloihin.

5.4 Merkkiainekokeet

Merkkiainetutkimus tarkoittaa tutkimusmenetelmää, jossa merkkiainekaasua ja sitä havaitsevaa mittalaitetta apuna käyttäen paikannetaan rakenteen sisällä ja sen läpi tapahtuvia ilmavirtauksia. Nykyisin yleisimmät käytössä olevat merkkiainekaasut ovat typen ja vedyn seos (N_2 95 % ja H_2 < 5 %) sekä rikkiheksafluoridiyhdiste (SF_6). Merkkiainekokeessa rakenteeseen syötetään merkkiainekaasua ja kaasun havaitsevilla mittalaitteella tutkitaan, mihin kaasu kulkeutuu. Mittauksen edellytyksenä on riittävä paine-ero mitattavan rakenteen yli. Ilman paine-eroa ei merkkiainekaasua levittäviä ilmavirtauksia synny ja havaintoja ilmavirtauksista ei voida tehdä. Ilmavirtaukset ja samalla merkkiainekaasu pyrkii aina kulkeutumaan alipaineisen tilan puolelle, mistä johtuen ilmavuotoja tulee havaita alipaineisen tilan puolelta. (RT 14-11197 2015.)

Kaksoislaattapalkiston kotelotiloissa ja rakenteen läpi tapahtuvien ilmavirtausten tutkimuksessa rakenteen kotelotilaan syötetään kaasuseosta ja mittalaitteella havaitaan merkkiaineen vuotamista huonetilan puolelta. Kun tutkitaan rakennetta ennen korjausta, voidaan merkkiainetutkimuksella saada selville, miten paljon rakenteessa on ilmavuotokohtia. Varsinkin rakenteen seinäliittymien, läpivientien ja alalaatan tiiveyttä olisi hyvä tutkia ennen korjaustapojen valitsemista. Jos merkkiainekokeella havaitaan paljon ilmavuotokohtia, tulee miettiä, onko rakenteen ilmatiivistäminen liian hankalaa. (Palviainen 2015.) Kaksoislaattapalkistossa on usein suuret ilmatilat ja ilma voi päästä liikkumaan pitkiäkin matkoja eri kotelotilojen välillä, jolloin yksittäisten ilmavuotokohtien merkitys kasvaa (Heino 2015). Merkkiainekokeella suurin hyöty saadaan ilmavuotoja paikantaessa laadunvarmistuksena. Tähän palataan myöhemmin kappaleessa 7.

5.5 Savukokeet

Kaksoislaattapalkiston ilmavuotokohtia voi havainnollisesti testata myös savun avulla. Savua syötetään rakenteen kotelotilaan savupatruunoilla tai savukoneella. Rakenteen kotelotila täytetään savulla ja huonetilasta käsin seurataan, mistä savu tulee ulos. Tutkittavan tilan täytyy olla alipaineinen kotelotilaan verrattuna, jotta savu hakeutuu paine-eron vaikutuksesta huonetilaan. Vaikka käytettävät savut ovat täysin vaarattomia, on tutkimus hankala toteuttaa tilojen ollessa käytössä. Savukokeen avulla pienimmät ilmavuotokohtat eivät ole havaittavissa, mutta näkyvän savun avulla voidaan helposti ja nopeasti arvioida suurempien ilmavuotokohtien laajuutta rakenteessa. (Huttunen 2015.)

5.6 Kotelotilojen olosuhtemittaukset

Kotelotilojen olosuhteita lämpötilaa, kosteutta ja hiilidioksidipitoisuutta voidaan seurata olosuhtemittarein. Tulosten kannalta olisi oleellista tehdä mittauksia jatkuvana eri osissa rakennusta, useassa eri kotelotilassa. Rakennusrungon keskellä olevissa kotelotiloissa olosuhteet ovat luonnostaan erilaiset kuin ulkoseinien läheisyydessä johtuen lämpötilaolosuhteista. Myös kosteusolosuhteet voivat vaihdella merkittävästi, sillä varsinkin puhtaaksimuuratujen paljaiden tiiliseinien tapauksessa muuraus voi olla huomattavan kostea. Kosteaa muuraus kostuttaa myös välipohjarakennetta ulkoseinien läheisyydessä (Kuva 31). (Huttunen 2015.)



Kuva 31. Kuva on otettu kaksoislaattapalkiston kotelotilasta, joka on ulkoseinän tiilimuurausta vas-
ten. Tiilimuuraus on näkyvästi kosteusvaurioitunut.

Salon (2014) tekemässä tutkimuksessa tutkittiin hiilidioksidimittausten käyttöä rakenteessa olevan home- tai mikrobikasvuston toteamiseksi. Tutkimuksessa hiilidioksidimitauksia testattiin sekä laboratorio- että kenttäkokein. Kenttäkokeessa hiilidioksidipitoisuus mitattiin rakenteen sisällä ja laboratoriokokeessa suljetussa kammiossa, jossa oli home- lähde. Kenttämittauskoe osoitti, että verrattuna rakenteen ympäröiviin tiloihin voi hiilidioksidipitoisuus nousta merkittävästi rakenteen sisällä, jos siellä on homekasvustoa. Tutkimuksessa todetaan, että hiilidioksidimittausta voidaan pitää yhtenä indikaattorina home- tai mikrobikasvustosta rakenteen sisällä, mutta alhaisen pitoisuuden perusteella ei mikrobivaurion mahdollisuutta voida sulkea pois. Hiilidioksidipitoisuuden perusteella voidaan kuitenkin ainoastaan huomata olemassa oleva mikrobikasvusto, mutta mikrobilajia tai -pitoisuutta ei voida sen tarkemmin tuloksista päätellä. Menetelmän hyötynä mainitaan näytteen nopea ja helppo ottaminen. Salo mainitsee, että menetelmän hyödyntämismahdollisuus voisi olla rakenteeseen jätettävän hiilidioksidimittauksen käyttäminen korjauskohteissa, joissa homekasvusto jätetään rakenteen sisään.

5.7 Kosteusmittaukset

Rakenteen vaurioitumisen kartoittaminen tulisi aloittaa yleisellä silmämääräisellä havainnoinnilla, jolloin kartoitetaan kosteusvaurioon viittaavat muutokset rakenteiden näkyvillä pinnoilla. Jos esimerkiksi rakenteen alapinnassa havaitaan kosteusjälkiä, voidaan olettaa, että kotelotilassa olevat materiaalit ovat myös jossain vaiheessa kastuneet. Näiltä alueilta on syytä suorittaa lisätutkimuksia esimerkiksi kosteusmittauksin ja rakenneavauksin.

Kaksoislaattapalkiston yhteydessä kosteusmittauksia on hyödyllisintä tehdä vesivuodon jälkeen arvioitaessa, miten laajalta alueelta rakenne on kastunut tai kun halutaan varmistaa kuivatuksen onnistumisesta. Kosteusmittauksia voidaan kaksoislaattapalkiston tutkimiseksi tehdä betonin tai kotelotilan sisällä olevaa suhteellista kosteutta tai betonin pintakosteutta arvioiden.

5.7.1 Pintakosteus

Rakenteiden pintakosteutta voidaan arvioida pintakosteusilmaisimen avulla. Ilmaisimella saadut tulokset eivät kerro tarkkoja lukemia rakenteen kosteudesta, vaan saatujen vertailuarvojen perusteella ainoastaan arvioidaan materiaalin pintakerroksessa olevaa kosteutta muutaman senttimetrin syvyyteen asti. Pintakosteusilmaisimen toiminta perustuu materiaalin sähköisten ominaisuuksien mittaamiseen. Materiaalin sähköisiin ominaisuuksiin

vaikuttaa materiaalissa oleva kosteus. Tutkittavien pintojen täytyy olla homogeenisiä, jolloin kostuneesta pinnasta pintakosteusilmaisimella saadut arvot eroavat kuivasta pinnasta saataviin vertailuarvoihin. Rakenteen tai materiaalin pinnassa olevat sähköjohdot, putket, metallit tai muovit voivat vaikuttaa virheellisesti mittaustulokseen, mikä täytyy ottaa huomioon mittauksia tehtäessä. (STM 2008.)

Pintakosteusmittauksella saadaan suhteellisen nopeasti ja rakenteita rikkomatta kartoitettua laajojen alueiden pintakosteutta. Pintakosteusmittauksella tehtävästä kartoituksesta on kuitenkin hyötyä lähinnä silloin, kun epäillään rakenteessa olevan jostain syystä ylimääräistä kosteutta. Koko rakenteen laajuista kartoitusta kaikista kaksoislaattapalkistorakenteista ei ole syytä tehdä. Kaksoislaattapalkiston yhteydessä pintakosteuskartoituksesta olisi hyötyä esimerkiksi:

- wc- ja märkätilojen kohdalla
- vesi- ja viemäriputkien läheisyydessä
- vesivuotojen tai kosteusvauriomerkkien läheisyydessä
- ulkoseinien läheisyydessä
- yläpohjien osalta, mahdollisten kattovuotojen vuoksi.

Pintakosteusilmaisimen vertailuarvojen perusteella kosteaksi tai märäksi havaituilla kaksoislaattapalkiston alueilla on syytä suorittaa lisätutkimuksia esimerkiksi rakennekosteusmittauksin tai rakenneavauksin.

5.7.2 Rakennekosteus

Rakennekosteusmittauksin mitataan rakenteen suhteellista kosteutta. Betonirakenteesta suhteellisen kosteuden mittaus voidaan tehdä joko näytepalamittauksena tai porareikämittauksena. Molemmilla menetelmillä saadaan tarkkoja mittausrvoja betonin suhteellisesta kosteudesta jollain syvyydellä rakenteen pinnasta. (RT 14-10984 2010.) Tutkittaessa kaksoislaattapalkistoa voidaan suhteellista kosteutta mitata joko betonirakenteista tai rakenteen kotelotilojen sisältä.

Näytepalamittauksessa halutulta syvyydeltä betonista piikataan näytepaloja, jotka kerätään näyteputkeen. Suhteellisen kosteuden mittapää asennetaan välittömästi näyteputkeen ja putki suljetaan vesihöyrytiiviillä kitillä. Betonipalojen sisällä olevan kosteuden annetaan tasaantua näyteputken ilmatilan kanssa vähintään 5-12 tuntia, jonka jälkeen suhteellisen kosteuden lukemat voidaan ottaa. (RT 14-10984 2010.)

Porareikämittaus tehdään poraamalla betoniin halkaisijaltaan yleensä 16 mm reikä haluttuun mittaussyvyyteen. Porareikä puhdistetaan pölystä, putkitetaan ja tiivistetään vesihöyrytiiviillä kitillä rajapinta betoniin sekä putken pää. Betonissa olevan kosteuden annetaan tasaantua vähintään kolme vuorokautta putkitetun porareian ilmatilan kanssa. Kun tasapainokosteus on saavutettu, asennetaan reikään suhteellisen kosteuden mittapää ja riittävän tasaantumisen jälkeen saadaan suhteellisen kosteuden lukemat. (RT 14-10984 2010.)

Kaksoislaattapalkiston kotelotiloissa olevan täytemateriaalin suhteellista kosteutta voidaan mitata myös poraamalla reikä joko rakenteen ylä- tai alalaatan kautta kotelotilaan (Kuva 32). Porareian kautta asennetaan suhteellisen kosteuden mittapää kotelotilassa olevaan täytemateriaalin ja annetaan mittapään tasaantua vähintään 15 minuuttia riippuen mittapäästä, minkä jälkeen otetaan suhteellisen kosteuden lukemat. (Leskinen 2007.)



**Kuva 32. Kaksoislaattapalkiston täyttömateriaalin suhteellista kosteutta mitataan rakenteen alalaa-
tan läpi tehdyn porareian kautta. (Leskinen 2007.)**

Rakennekosteusmittausten perusteella saadaan selville, onko rakenteessa tai sen kotelotiloissa olevassa materiaalissa tutkimushetkellä kosteutta. Jos rakenne havaitaan märäksi, täytyy selvittää, mistä rakenteessa oleva kosteus on alkuperäisin. Kosteuden alkuperästä ja kosteusvaurion tapahtumisajankohdasta riippuen valitaan rakenteeseen tehtävät korjaustoimenpiteet. Jos kosteus on ollut rakenteessa jo useita viikkoja, rakenteen kotelotiloissa olevassa luonnonmateriaalissa voi olla aktiivinen mikrobikasvusto. Tässä tilanteessa rakenteen kuivattamisen lisäksi voidaan perustellusti poistaa muottilauta- ja täytemateriaalit rakenteen kotelotiloista.

6 Korjausmenetelmät

Kuten aina sisäilmakorjausten olleessa kyseessä, täytyy korjaussuunnitelmat kaksoislaattapalkistonkin aiheuttaman riskin tapauksessa tehdä katsoen rakennusta ja tiloja kokonaisuutena. Yksittäisen riskin poistaminen yksittäisestä rakenteesta on harvoin riittävä keino varmistamaan sisäilman hyvä laatu. Varsinkin ilmanvaihtojärjestelmällä ja sen toimivuudella on suuri merkitys sisäilman laatuun ja suuri osa sisäilmaongelmista voitaisiin ehkäistä ilmanvaihtokorjauksin. (Huttunen 2015)

Tämän työn yhteydessä kaksoislaattapalkiston korjausmenetelminä käydään läpi rakenteen ilmatiivistyskorjausta ja rakenteen kotelotilojen alipaineistusta. Rakenteen purkumenetelmiä ei tässä kappaleessa erikseen käydä läpi. Erilaisia purkumenetelmiä tulee jonkun verran esille tapaustutkimuskohteiden yhteydessä. Diplomityön kannalta oleellisinta on keskittyä pääasiassa muihin korjausvaihtoehtoihin kuin rakenteen osittaiseenkaan purkamiseen. Tässä kappaleessa käydään kuitenkin läpi myös purkamisen jälkeen tarvittavia toimenpiteitä esimerkiksi betonipintojen puhdistusta ja desinfiointia, sillä täyttömateriaalien ja muottilautojen poistaminen rakenteen kotelotiloista ei ole yksinään riittävä toimenpide takaamaan laadukasta sisäilmaa (Huttunen ja Palviainen 2014).

6.1 Tiivistyskorjaukset

Aiemmin jo mainittiin, että ala-, ylä- ja välipohjarakenteissa olevat epäpuhtaudet ovat merkityksellisiä sisäilman laadulle ainoastaan silloin kun ne pääsevät huonetilan ilmaan. Yhtenäisen betonikerroksen läpi ei pääse kulkeutumaan homeitiöitä, mutta betonissa olevien ilmareittien mukana epäpuhtaudet kulkeutuvat rakenteen läpi (Leivo ja Rantala 2006). Mikrobiepäpuhtauksien lisäksi kaksoislaattapalkiston kotelotiloissa on sementtipölyä, hiekkaa ja muuta pölyävää materiaalia, joiden pääsy huonetiloihin voidaan estää tiivistyskorjauksin (Huttunen 2004).

Tiivistyskorjaus on korjausmenetelmä, jonka tavoitteena on estää hallitsemattomat ilmavirtaukset ja niiden mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien pääsy rakenteista sisäilmaan. Myös kohteissa, joissa ei ole ilmennyt sisäilmaongelmia, voidaan tiivistyskorjauksella esimerkiksi peruskorjauksen yhteydessä varmistaa, että sisäilmaongelmia ei tulevaisuudessa ilmene. (Laine 2014.)

Tiivistyskorjauksia toteutetaan nykyisin esimerkiksi siveltävällä vedeneristemassalla, epoksipohjaisella pinnoitteella, ruiskutettavalla massalla tai erilaisilla teipeillä. Tiivistyskorjausten onnistuminen riippuu paljon käytetyistä materiaaleista ja työtekniikasta (Aho ja Korpi 2009). Korjauksissa käytettyjen materiaalien käyttöikää ei tarkasti tiedetä, koska nykyisin käytetyt tuotteet eivät ole olleet markkinoilla riittävän pitkään. Todellinen käyttöikä kuitenkin riippuu tiivistyskorjausten toteutuksesta ja käytönaikaisesta rikkoutumisesta. (Miettunen 2015.)

Tiivistyskorjausten suunnittelussa ja toteutuksessa tulee aina valita oikeat materiaalit ja työtavat tapauskohtaisesti, jotta korjaus onnistuu ja on mahdollisimman pitkäikäinen. Tiivistystyön suorittajan tulee olla kokenut ja ymmärtää, miksi tiivistystyö tehdään. Lisäksi on hyvä huomioda, että tiivistyskorjaustyön valvonta ja laadunvarmistus työn aikana on vähintään yhtä tärkeää kuin suunnitelmien laatu ja korjaustyön tekninen toteutus. (Sobott 2014)

Sobott (2014) on tutkinut insinööriytössään kohteita, joissa on aiemmin toteutettu tiivistyskorjauksia. Tutkimuksessa tehtyjen merkkiainekokeiden perusteella havaittiin useita ilmavuotokohtia aiemmin tiivistetyissä rakenteissa. Tutkimuksessa kuitenkin todettiin, että havaitut ilmavuotokohtat johtuivat huonosti toteutetuista tiivistystöistä. Niillä kohdilla, missä vuotoa ei havaittu, oli tiivistystyö toteutettu pääosin suunnitelmien mukaisesti. Tutkimuksessa todettiin, että tiivistyskorjaukset olivat epäonnistuneet johtuen pääosin työvirheistä, joita ei ollut havaittu virheellisesti tehtyjen merkkiainekokeiden vuoksi.

Tiivistyskorjaukset ovat varteenotettava vaihtoehto rakenteiden purkamiselle silloin kun pyritään saamaan aikaiseksi terveellinen ja rakennusperintöä suojellen korjattu rakennus. Tiivistyskorjauksilla edistetään rakennussuojelun toteutumista, jos korjauksilla saadaan hallittua tai parannettua sisäilman laatua ja pidennettyä rakennuksen käyttöikää (Laine 2014). Korjausten soveltuvuus tulee aina miettiä tapauskohtaisesti, mutta tiivistämällä toteutettu korjaus voi hyvinkin olla riittävä menetelmä välipohjarakenteiden aiheuttaman sisäilmariskin ehkäisemiseksi.

Kaksoislaattapalkiston tiivistyskorjaukset voidaan kohdistaa joko havaittuihin ilmavuotokohtiin eli läpivienteihin, koloihin, halkeamiin, liittymäkohtiin ja muihin rakenteen epäjätkuvuuskohtiin kuten kuvissa 33 ja 34 tai koko rakenteen ala- tai ylälaattaan kokonaisuudessaan. Kuvassa 35 on tiivistetty kokonaan rakenteen alalaatta. Tiivistettäessä laatta kokonaisuudessaan varmistutaan havaittujen ilmavuotokohtien lisäksi pienien, vaikeasti havaittavien kohtien tiivistämisestä. Riskiksi jää, että tiivistyskerros rikotaan tulevaisuudessa laattoihin asennettavilla kiinnikkeillä. Jos rakenteessa todetaan olevan vain vähän vuotokohtia, voidaan työ- ja materiaalikustannuksissa säästää tiivistämällä ainoastaan selvät vuotokohtat. Tässä tapauksessa laadunvarmistus merkkiainekokein on entistä tärkeämpää. Kuvissa 33 ja 35 tiivistykset on toteutettu vedeneristemassalla. Vedeneristemassa on joustavaa, joten se kestää pientä muodonmuutosta. Epoksilla toteutetut tiivistykset (Kuva 34) eivät kestä muodonmuutoksia, joten tiivistetyn rakenteen halkeillessa halkeilee myös epoksitiivistys.



Kuva 33. Kaksoislaattapalkistossa olevia ilmavuotoreittejä on tiivistetty siveltävällä vedeneristemassalla.



Kuva 34. Ylälaatatassa oleva saumakohta on tiivistetty epoksilla (keltainen nuoli).



Kuva 35. Välipohjarakenteen alalaatta on tiivistetty kauttaaltaan vedeneristysmassalla. Tiivistyskorjauksia tehdessä erityistä huomiota täytyy kiinnittää läpivientien, liittymäkohtien ja muiden epäjatkuvuuskohtien tiivistykseen.

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa C2 (1998) määritetään, että rakenteen on tarvittaessa kyettävä kuivumaan haittaa aiheuttamatta. Jos kaksoislaattapalkistorakenne tiivistetään koko laatan laajuudelta, olisi hyvä käyttää materiaaleja, jotka eivät heikennä rakenteen kuivumiskykyä liiaksi. Jos rakenne tiivistetään kokonaisuudessaan siten, että kuivumiskyky heikkenee lähes olemattomaksi, voivat kertaluontoisten vesivahinkojen aiheuttamat ongelmat olla arvaamattomia. Esimerkiksi kipsilevytyksin tai muilla rakennuslevyillä tiiviiksi toteutettu rakenteen alapinta on mahdollisen vesivahingon sattuessa homehtumisherkkyydestään huolimatta suhteellisen turvallinen vaihtoehto, sillä vesi pääsee valumaan pois rakenteesta tai ainakin tapahtunut vesivahinko havaitaan ennen suuremman vahingon syntymistä. Rakenteen kuivumiskyky on erityisen tärkeää tapauksessa, jossa välipohjan kantavat palkit ovat puurakenteisia. (Huttunen 2015.)

Rakenne tulee tehdä ilmatiiviiksi huolimatta siitä, poistetaanko kotelotiloissa olleet materiaalit vai ei, sillä jäljelle jäävät betonipinnat voivat olla yhtä lailla mikrobivaurioituneet kuin niitä vasten oleva poistettava orgaaninen materiaali. Kun rakenteen kotelotiloissa olevan materiaalin poiston yhteydessä puretaan suhteellisen tiivis betoninen ylä- tai alalaatta, ovat rakenteen mikrobivaurioituneet pinnat suorassa yhteydessä huoneilmaan. Rakenteen kotelotiloissa on lisäksi jossain määrin yhä betonipölyä ja muita pölyäviä materiaaleja, joiden pääsy sisäilmaan täytyy estää. Toisaalta voidaan ajatella, onko täyte- ja muottilautamateriaalin poistaminen turhaa, jos rakenne joka tapauksessa täytyy tehdä ilmatiiviiksi. (Huttunen ja Palviainen 2014.)

Mikrobien kulkeutumista vaurioituneesta rakenteesta sisäilmaan on vaikea estää täysin tiivistyskorjauksillakaan, mutta korjauksilla voidaan merkittävästi vähentää sisäilman mikrobipitoisuuksia (Päkkilä 2012). Tiivistyskorjauksia suunniteltaessa täytyy kiinnittää huomiota rakennuksen ja tilan kokonaisvaltaiseen toimintaan. Sisäilman laatuun voidaan lisäksi merkittävästi vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmällä. Toimiva ilmanvaihtojärjestelmä poistaa ilmasta epäpuhtauksia ja laimentaa sisäilmassa olevien yhdisteiden pitoisuuksia entisestään. (Laine 2014.)

6.2 Kotelotilojen alipaineistus

Mikrobit ja muut ilman mukana kulkeutuvat epäpuhtaudet liikkuvat ilmayhteyksien kautta paine-eron vaikutuksesta ylipaineisesta tilasta alipaineiseen tilaan (Päkkilä 2012). Alipaineistamalla kotelotilat rakenteen läpi tapahtuvat ilmavuodot kulkisivat huonetilasta kotelotilojen suuntaan, jolloin epäpuhtaudet eivät siirtyisi huonetilaan. Kotelotilojen alipaineistusta voidaan käyttää varmistuskeinona tiivistämällä tehtyjen korjausten onnistumiseen. Tilojen painesuhteita on mahdoton hallita ilman riittävää ilmatiiviyyttä, joten ilman tiivistyskorjauksia ei kotelotilojen alipaineistaminen onnistu.

Alipaineistus voidaan toteuttaa kotelotiloihin koneellisesti alipaine puhaltimin. Painesuhteiden hallinta vaatii säännöllistä seurausta ja järjestelmien tarkkaa kunnossapitoa. Koneellisesti toteutetuissa korjausratkaisuissa on aina riskinä, että tekniikka ei toimi jatkuvasti. Jos alipaineistuksella estetään epäpuhtauksien kulkeutuminen kaksoislaattapalkiston kotelotiloista huonetilaan, täytyy painesuhteiden hallinta olla jatkuvaa myös silloin kun rakennus ei ole käytössä. (Tähtinen ym. 2013.)

Isoniemi (2014) on diplomityössään pohtinut kaksoislaattapalkistorakenteiden välipohjien korjausratkaisuna kotelotilojen alipaineistusta. Alipaineistamalla tehty korjaus mainitaan työssä olevan helpompi ja nopeampi vaihtoehto muottilautojen ja täyttömateriaalin poistamiselle kotelotiloista. Huonoiksi puoliksi mainitaan ilmanvaihtolaitteiden ja -kanavien huoltotarve, sähkönkulutus ja meluhaitta sekä mahdollisuus laitteiston vikaantumiselle.

6.3 Betonipintojen puhdistus purkutöiden jälkeen

Rakenteen kotelotiloissa olevan vaurioituneen orgaanisen aineen poiston yhteydessä täytyy huomioida myös betonipintojen huolellinen puhdistus vaurioituneesta materiaalista. Betonipinnassa voi yhtä lailla olla mikrobikasvustoa kuin muottilauta- ja täytemateriaalissa. Puhdistuksen lähtökohtana on, että rakennusmateriaaleissa tai rakenteissa olevat elävät ja kuolleet mikrobikasvustot sekä mahdollisesti materiaaleihin sitoutuneet mikrobien aineenvaihduntatuotteet saadaan poistetuksi mahdollisimman hyvin. (Hartikainen 2013.)

6.3.1 Mekaaninen puhdistus

Kaksoislaattapalkiston kotelotilojen betonipinnoissa olevat ja niihin sitoutuneet mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet on varmintä poistaa mekaanisesti betonin pintakerrosta poistamalla. Mekaaninen puhdistaminen voidaan tehdä esimerkiksi betonipintaa hiomalla tai teräsharjalla harjaamalla. Joissain tapauksissa puhdistuksena on käytetty myös hiekkapuhallusta. Rakennuksen sisätiloissa hiekkapuhallus on ongelmallista, sillä näkyvyys tilassa puhalluksen aikana on lähes olematon (Kuva 36). Sen lisäksi, että näkyvyyden heikkeneminen aiheuttaa työturvallisuusriskin, syntyy puhalluksessa myös paljon hiekkajätettä ja suuri pölyhaitta. Hiekkaa vähemmän pölyävä vaihtoehto on ferrokromikuonasta valmistettu OKTO-puhallusrae, joka on tiivistä, rakeista ja lasista kiviainesta (Karekivi 2006).



Kuva 36. Kaksoislaattapalkiston purettujen kotelotilojen betonipintoja puhdistetaan hiekkapuhaltamalla.

Varsinkin vaurioituneet muottilaudat ovat usein kiinnittyneet betonipintoihin erittäin tiukasti. Kuvassa 37 on kaksoislaattapalkisto, jonka betoninen ylälaatta, kotelotilojen täytemateriaalit ja muottilautojen irtoavat osat on poistettu, mutta muottilautojen pinnat ovat jääneet kiinni betonipintoihin. Tämä on hyvä esimerkki siitä, miksi betonipinnat täytyy mekaanisesti puhdistaa irtoavan aineksen poiston lisäksi.



Kuva 37. Kaksoislaattapalkiston ylälaatta, muottilaudat ja täytemateriaali on poistettu, mutta palkkien betonipinnoissa on yhä muottimateriaalia.

6.3.2 Desinfiointi

Kaikki yleisdesinfiointiaineet ovat biosideja. Biosidit ovat kemiallisia aineita, valmisteita tai pieneliöitä, joiden tarkoitus on tuhota, torjua tai tehdä haitattomaksi haitallisia eliöitä, estää niiden vaikutusta tai rajoittaa esiintymistä. Useimmat desinfiointiaineet ovat ihmiselle vaarallisia ja niiden käyttöä ei rakennuksissa suositella. Rakenteiden puhdistaminen ja rakenteissa olevien epäpuhtauksien hallinta tulisi toteuttaa ilman desinfiointiaineita. Jossain tapauksissa rakennukseen jääviä rakenteita voidaan käsitellä desinfiointiaineilla, jos rakenteissa olevaa hajua ei muulla keinoin saada pois. (Hartikainen 2013.)

Kaksoislaattapalkistorakenteen yhteydessä desinfiointia voidaan käyttää tilanteissa, joissa kotelotilojen täyttömateriaalit ja muottilaudat on poistettu ja betonipinnat puhdistettu mekaanisesti, mutta betonipinnoissa on yhä aistittavissa selkeää mikrobiperäistä hajua. Muissa tapauksissa desinfiointiaineita ei tulisi käyttää rakenteiden puhdistukseen. Kaikkia mikrobeja ei rakenteesta saada edes desinfioinnilla poistettua. Esimerkiksi aktinomykeetit ovat nykyisen käsityksen mukaan erityisen vaikeasti poistettavissa, sillä useimmat desinfiointiaineet eivät edes vaikuta aktinomykeetteihin. Desinfiointikäsittelyn riskinä on, että rakenteeseen jää yhä elinkykyisten mikrobien lisäksi käytetyn aineen jäämiä. Useimmat desinfiointiaineet ovat suurelta osin vettä, jolloin käsiteltävään rakenteeseen tuodaan käsittelyn aikana kosteutta. Mikäli aineen reagointi on puutteellista, voivat kosteutta saaneet mikrobit alkaa kasvaa. (Palviainen 2014b.)

6.3.3 Muut keinot

Joissain kohteissa betonipintojen puhdistuksessa on käytetty kuivajääpuhallusta. Kuivajääpuhalluksessa paineilamalla puhalletaan äänennopeudella hiilihappojäästä puristettuja pellettejä puhdistettavaan pintaan. Pellettien lämpötila on -79 °C . Pinnassa oleva likakerros halkeilee pellettien osuessa puhdistettavaan pintaan lämpötilaeron ja liike-energian vaikutuksesta. Pelletit tunkeutuvat halkeamiin ja höyrystyvät hiilidioksidikaasuksi. Höyrystyessään kuivajääpelletit laajenevat ja irrottavat epäpuhtaudet betonipinnasta. Kuivajääpuhalluksessa ei käytetä kemikaaleja. Hiilihappojää hajoaa höyrynä ilmaan eikä aiheuta rakenteisiin kemikaali- tai kosteuskuormaa. (Kärcher Oy 2006.)

Yksi keino puhdistaa jäljelle jäävät betonipinnat olisi polttaa betonipinnoista kaasupolttimen liekillä kaikki palava aines. Tämä kuitenkin aiheuttaa usein liian suuren paloturvallisuusriskin ja on siksi harvoin käytetty menetelmä. Polttamista voisi harkita esimerkiksi peruskorjauksen yhteydessä kivrakenteisen rakennuksen sisätilojen purkutöiden jälkeen, kun rakennuksessa ei olisi muuta palavaa ainesta. Polttamalla saataisiin betonipinnoista pois kaikki ylimääräinen aines mukaan lukien pinnassa mahdollisesti olevat mikrobikasvustot. Itsessään betoni on tulenkestävää, mutta voi heikentyä liiallisesta kuumuudesta. (Palviainen 2014b.)

7 Laadunvarmistusmenetelmät

Korjausten laadunvarmistukseen tulee panostaa aina varsinkin sisäilmakorjausten ollessa kyseessä. Korjausten tekninen toteutus harvoin onnistuu ilman tarkkaa laadunvarmistusta. Tässä kappaleessa käydään läpi kaksoislaattapalkiston korjauksiin liittyviä laadunvarmistuskeinoja.

7.1 Aistinvarainen laadunvarmistus

Laadunvarmistus tulee tehdä ensisijaisesti aistinvaraisin keinoin havainnoimalla näkyvät puutteet korjausten toteutuksen aikana. Aistinvaraisesti tehty laadunvarmistus on tärkein ja helposti toteutettava keino laadunvarmistukseen, mutta yksinään se harvoin on riittävä. Tiivistyskorjausten yhteydessä aistinvaraisesti voidaan arvioida esimerkiksi tiivistysten tartuntaa, massassa olevia ilmakuplia tai epäpuhtauksia, liittymien ja läpivientien yksityiskohtien toteutusta ja massan kerrospaksuutta. Kuvassa 38 on esitetty muutamia havaittavia puutteita vedeneristysmassalla toteutetussa tiivistyksessä.



Kuva 38. Vasemman puoleisessa kuvassa patteriputkien läpivientien tiivistys on puutteellinen: putken ympäriltä ei ole poistettu paperikerrosta ennen tiivistyksen asentamista eikä massaa ole nostettu putkien pinnalle. Oikealla on tehty lattian ja seinän liittymätiivistys vedeneristysmassalla vahvistusnauhaa käyttäen: vahvistusnauha kupruilee (keltainen nuoli) ja käytettyä vedeneristysmassaa on liian ohut kerros, joten alla oleva vahvistusnauha kuultaa massan läpi (punainen nuoli).

7.2 Vedeneristeen kuivakalvonpaksuuden määrittäminen

Kun tiivistyskorjaukset toteutetaan siveltävällä vedeneristysmassalla, täytyy massaa asentaa materiaalivalmistajan määrittämän kuivakalvonpaksuuden mukaisesti. Saavutettua kuivakalvonpaksuutta voidaan joissain tilanteissa arvioida ainemenekin perusteella, kun tiivistykset kohdistetaan kokonaisuudessaan jollekin tiedetylle pinta-alalle. Varmempi keino varmistua vaaditusta kalvopaksuudesta on irrottaa massasta näytepala, jonka paksuus mitataan suurentavan luupin avulla tai työntömittaa käyttäen (Kuva 39). Tarkempi arvio massan kerrospaksuudesta saadaan luopilla. (Riikonen 2012.)



Kuva 39. Työntömitalla määritetään tiivistykseen käytetyn vedeneristemassan kalvopaksuus. (Rii-konen 2012.)

7.3 Merkkiainekokeet

Merkkiainetutkimusmenetelmä on käsitelty kappaleessa 5.4.

Tiivistyskorjausten onnistumista ei voida todeta onnistuneeksi pelkästään aistinvaraisin keinoin vaan korjaustyön aikana on käytettävä esimerkiksi merkkiainekokeita, jotta varmasti kaikki tiiviydeltään puutteelliset kohdat havaitaan ja korjataan. Jokaiseen tiivistyskorjattavaan tilaan tulisi suorittaa laadunvarmistuksena merkkiainekokeet ja kaikki tiivistetyt liittymät tulisi tarkastaa. Suoritettavat laadunvarmistuskokeet olisi hyvä määrittää jo korjaussuunnitelmissa. (Sobott 2014)

Merkkiainetutkimuksella paikannetaan puutteellisesti tiivistetyt tai tiivistämättömät kohdat rakenteessa syöttämällä merkkiaineakaasua kaksoislaattapalkiston kotelotiloihin ja havainnoimalla kaasun kulkeutumista rakenteen läpi huonetiloihin. Tutkimus tulee suorittaa siten, että tutkittava huonetilalla on alipaineinen, jotta merkkiaineakaasu varmasti kulkeutuu ilmapuotoreittien kautta huonetilalle. Liiallinen paine-ero kuitenkin korostaa vuotohavaintoja ja voi johtaa virheellisiin vuotohavaintoihin. Paine-eron tulisi olla alle 15 Pa, jotta merkkiainekokeella saadaan luotettavia tuloksia. (RT 14-11197 2015)

7.4 Paine-eromittaukset

Paine-eromittauksin voidaan varmistua kotelotilojen alipaineistamisen onnistumisesta. Paine-eromittaukset kannattaa toteuttaa ennen korjausta ja korjauksen jälkeen, jotta voidaan verrata korjauksilla aikaansaattua muutosta. Lopputuloksen kannalta oleellisinta kuitenkin on, että kotelotilat pysyvät jatkuvasti alipaineisina ympäröiviin huonetiloihin verrattuna. Rakennuksen tilojen ilmanpaineeseen vaikuttavat esimerkiksi sääolot, tuuli, tilan käyttö, ikkunan tai oven avaus ja muutokset ilmanvaihdossa, minkä vuoksi paine-eromittaukset täytyy tehdä mielellään usean viikon kestäväenä jatkuvana mittauksena (Päkkilä 2012). Kotelotilojen ja huonetilan välistä paine-eroa tulisi mitata normaalioloissa ilmanvaihdon ollessa päällä.

Jos taas varmistetaan tiivistyskorjausten onnistumista, täytyy esimerkiksi kotelotilaan muodostaa alipaine ja seurata paine-eromittauksin, pysyykö tila alipaineisena huonetilalle nähden. Jos rakenteessa on ilmayhteyksiä, kotelotila ei kestä alipaineisena vaan pyrkii

samaan paineeseen huonetilan kanssa (Leivo ja Rantala 2006). Tiivistyskorjausten laadunvarmistukseen merkkiainekoe on paine-eromittaus hyödyllisempi, koska kokeen yhteydessä saadaan samalla selville ilmavuotoreitit.

7.5 UV-valon käyttö

Orgaaniset aineet heijastavat ultraviolettivaloa. Tämän vuoksi kaksoislaattapalkiston kotelotilojen betonipintojen puhdistumista voidaan yksinkertaisesti varmentaa UV-valolla ja paikantaa lisäpuhdistusta vaativia alueita. Kun betonipinnat on puhdistettu, voidaan UV-valolla etsiä kohdat, joihin on vielä jäänyt muottilautojen tai täytemateriaalin orgaanista ainesta.

Diplomityön yhteydessä yhdessä kohteessa testattiin ultraviolettivalon käyttökelpoisuutta kaksoislaattapalkistojen kotelotilojen betonipintojen puhdistustarpeen arviointiin. Tarkastus onnistui parhaiten, kun tilassa oli muuten hämärää. Tarkastus kannatta siis tehdä tiloissa, joissa valot ovat pois päältä ja ikkunat pimennettynä. UV-valolaitteen valoteho vaikuttaa myös suuresti tarkastuksen onnistumiseen ja laitteen hyödyllisyyteen. Seuraavissa kuvissa 40, 41 ja 42, on esitetty kaksoislaattapalkistojen kotelotilojen betonipintojen puhtauden tarkastamista UV-valolla. Rakenteesta on ennen tarkastusta purettu alalaatta, täytemateriaalit ja muottilaudat. Pinnat on lisäksi puhdistettu hiekkapuhaltamalla. Kuvissa havaitaan selvästi, miten betonipinnassa oleva orgaaninen aine heijastaa valoa.



Kuva 40. UV-valolla voidaan paikantaa puhdistetussa pinnassa yhä olevat orgaanisten aineiden jäänteet. Kotelotilojen puhdistus on tehty hiekkapuhalluksella ennen UV-valotarkastusta.



Kuva 41. Kaksoislaattapalkiston lähes puhdas pinta UV-valon avulla todettuna.



Kuva 42. Vasemman puoleisessa kuvassa pintaa tarkastellaan taskulampun valossa ja sama kohta on kuvattuna oikean puoleisessa kuvassa UV-valossa. Betonipinta oli tällä kohdalla huokoista, mistä johtuen orgaanista ainesta on jäänyt pintaan.

8 Tapaustutkimuskohteet

Tässä työssä tutkimusmetodiikkana käytettiin tapaustutkimusta useasta kohteesta. Työhön valittiin kohteita, joissa on välipohjarakenteena käytetty kaksoislaattapalkistoa. Mahdollisia tutkimukseen sopivia kohteita olisi ollut jo pääkaupunkiseudulla useita kymmeniä. Tutkimuksessa käytetyt kohteet valittiin siten, että saatiin esimerkit eri vaiheissa olevista ja eri tavalla toteutetuista korjauksista sekä erilaisista tutkimusmenetelmistä ennen korjausta ja laadunvarmistuksen aikana.

Tutkimuskohteisiin ja niissä tehtyihin tutkimuksiin sekä korjauksiin perehdyttiin niihin liittyvän aineiston avulla. Osasta kohteista saatiin tutkimuksiin ja korjauksiin liittyvien asiakirjojen lisäksi rakennusten alkuperäisiä rakennesuunnitelmia. Joissain kohteissa suoritettiin välipohjiin ja niiden korjauksiin liittyen omia tutkimuksia, jotka käytiin läpi kappaleessa 5 Tutkimusmenetelmät ja kappaleessa 7 Laadunvarmistus. Lisäksi joidenkin kohteiden osalta haastateltiin korjauksiin liittyviä henkilöitä. Osa kohteista on IdeaStructura Oy:n aiempia tai nykyisiä korjauskohteita. Lisäksi kohteita saatiin Senaatti-kiinteistöjen, HKR-Rakennuttajan, eri kuntien ja Helsingin yliopiston kautta. Kohteita käsitellään työssä anonyymisti.

8.1 Kohde 1: Korjaus ei alkanut, toimistorakennus

Ensimmäinen tutkimuskohde on Helsingissä sijaitseva toimistorakennus. Rakennus on rakennettu 1810–1830 välisenä aikana useassa osassa. Rakennus on kuusikerroksinen mukaan lukien ullakko ja kellarikerros. 1930-luvulla rakennukseen tehtiin laaja peruskorjaus, jonka aikana rakennukseen lisättiin kaksi uutta pihasiipeä. Lisäksi yhtä rakennuksen olemassa olevaa siipeä levennettiin toimistohuoneilla. Näissä myöhemmin rakennetuissa osissa on käytetty välipohjarakenteena aikakaudelle tyypillistä kaksoislaattapalkistoa. Toimistolevennyksen välipohjalaatat kannatettiin vanhan rakennuksen ulkoseinämuuraukseen tehtyihin syvennyksiin. Rakennuksen vanhempien osien välipohjat ovat puurakenteisia. (Bonsdorff ja Winterhalter 2010.)

Rakennus on asemakaavassa merkitty suojelumerkinnoilla sr, suojeltava rakennus, ja sk, valtion omistamien kulttuurihistoriallisesti huomattavien rakennusten suojelusta annetun asetuksen mukaan suojeltava rakennus. Suojelun kohteena on koko rakennus. Rakennusta ei saa ilman Museoviraston lupaa muuttaa tai käyttää niin, että sen kulttuurihistoriallinen arvo vähenee. Suojelutoimenpiteiden lähtökohtana on sekä rakennuksen nykyinen ulkoasu että sisätilojen vuosina 1989–1992 toteutetun peruskorjauksen jälkeinen asu. (Hankesuunnitelma 2013.)

Tällä hetkellä rakennuksessa on käynnissä peruskorjaushanke. Peruskorjauksen ensimmäisen vaiheen alueelta käyttäjät siirtyivät väistötiloihin toukokuussa 2015. Purkutyöt oli tarkoitus aloittaa vuoden 2015 kesällä, mutta aloitus on viivästynyt, minkä takia tutkimukset tätä diplomityötä varten rajoittuvat ennen korjausta suoritettaviin tutkimuksiin. Rakennuksessa on välipohjarakenteissa täyttömateriaalina turvetta, sammalta, hiekkaa, betoni- ja laastimurskaa sekä muuta rakennusjätettä.

Vaikka kohteessa ei ole havaittu välipohjarakenteisiin liittyvää sisäilmaongelmaa, on välipohjarakenteiden vaikutusta sisäilman laatuun jouduttu miettimään peruskorjauksessa tehtävän ilmanvaihdon tehostamisen takia. Riskinä on, että välipohjarakenteiden sisällä olevat epäpuhtaudet kulkeutuvat tehostetun ilmanvaihdon vuoksi ilmapirran mukana sisäilmaan. (Museoviraston lausunto 2014.)

8.1.1 Tutkimukset

Kohteessa on tehty sekä betoni- että puuvälipohjarakenteisiin ja niiden täyttömateriaaleihin liittyen useita tutkimuksia käyttäen laajaa kirjoa erilaisia tutkimusmenetelmiä. Tässä diplomityössä keskitytään lähinnä betonisten kaksoislaattapalkistovälipohjien tutkimuksiin ja korjaussuunnitelmiin ja jätetään puuvälipohjat tutkimuksen ulkopuolelle.

Rakenneavaukset vuonna 2012

Kohteeseen tehtiin vuonna 2012 rakenteiden kuntotutkimus. Kuntotutkimuksessa välipohjarakenteiden kuntoa sekä rakennekerroksia selvitettiin rakenneavauksilla. Rakenneavaukset havainnoitiin aistinvaraisesti ja täytemateriaalista otettiin materiaalinäytteet, joiden mikrobilajistoa ja -pitoisuutta analysoitiin laboratoriossa viljelymenetelmin. (Hedenstram ja Sippola 2012.)

Vuoden 2012 tutkimusten yhteydessä betonisten kaksoislaattapalkistojen muottilauta- tai täytemateriaaleista otettiin yhteensä kuusi materiaalinäytettä, joista neljässä todettiin selvästi kohonneita mikrobivaurioon viittaavia mikrobipitoisuuksia. Kaikki näytteet oli otettu alueilta, joissa ei ollut tiedossa vesivuoto-ongelmia. (Palviainen 2014a.)

Merkkiainekokeet ja endoskooppikuvaus

Palviainen selvitti vuonna 2014 välipohjarakenteiden koteloiden ja niissä olevien materiaalien ilmayhteyksiä huonetiloihin merkkiainekokein. Kokeet suoritettiin normaalin ilmanvaihdon ollessa päällä. Kaksoislaattapalkistojen kotelotiloista ilmavuotoja havaittiin läpivientirakenteista alapuolisen huonetilan alakattotilaan sekä seinustalla olevaan sähköasennuskouruun. Joissain tiloissa merkkikaasun ei havaittu siirtyvän rakenteen ylä- tai alapuolisiin tiloihin. Lisäksi kotelotiloja kuvattiin endoskooppikameralla, jolla havaittiin muottilautoituksissa vaihtelevasti pintahometta. (Palviainen 2014a.)

Korjaussuositukset vuonna 2014

Kaikkien välipohjarakenteisiin suoritettujen tutkimusten perusteella toimenpide-ehdotukseksi suositeltiin välipohjarakenteiden kotelotiloissa olevien luonnonmateriaalien poistamista kaikista välipohjista myös kaksoislaattapalkistojen osalta. (Palviainen 2014a.) Museoviraston lausunto (2014) kuitenkin oli, että ainoastaan vaurioitunut materiaali tulisi poistaa. Välipohjiin suoritettiin lisätutkimuksia vuonna 2015 täyttömateriaalien ja muottilautojen vauriolaajuuden selvittämiseksi ja mahdollisesti säästettävien alueiden määrittämiseksi.

Tutkimukset vuonna 2015

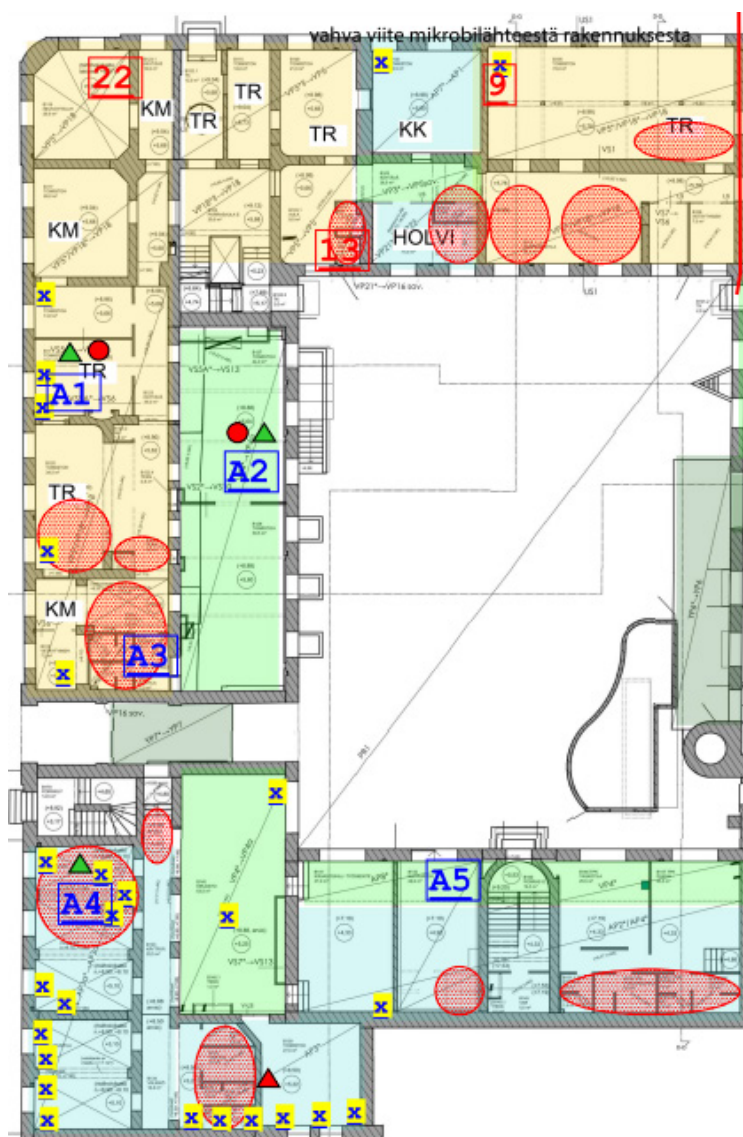
Kaksoislaattapalkistoja tutkittiin vuonna 2015 seuraavin menetelmin:

- Homekoira-arviointi
- Sisäilman mikrobinäytteet huonetiloista
- Rakenneavaukset
 - Aistinvarainen arviointi
 - Materiaalinäytteiden mikrobiologinen analysointi
 - Viljely
 - qPCR
 - Kokeelliset sisäilmanäytteet rakenteen kotelotiloista















Tutkimukset lähtivät liikkeelle homekoirakartoituksella huhtikuun 2015 alussa kahdella eri homekoiraporukalla tulosten vertailun vuoksi. Osasta huonetiloista otettiin verrokiksi sisäilman mikrobinäytteitä huhtikuussa 2015. Sisäilmanäytteet tutkittiin laboratoriossa viljelymenetelmin ja lisäksi tehtiin analyysit qPCR-näytteille. qPCR-näytteiden tulkinta

tehtiin vertailemalla tuloksia oletetusti puhtaasta tilasta otettuun näytteeseen. (Heino 2015.)

Ensimmäinen homekoiraporukka koostui neljästä koirasta, jotka kiersivät rakennuksen ensimmäisen vaiheen peruskorjauksen alueen. Toiseen porukkaan kuului kaksi koiraa, jotka kiersivät samoja alueita, mutta eivät ehtineet kiertää aivan koko aluetta. Koneellinen ilmanvaihto oli päällä koirien työskentelyn aikana, mikä vaikeutti ja hidasti hieman tutkimusta. Suurin osa ensimmäisen koiraporukan ilmaisemista kohdista olivat ulkoseinien läheisyydessä. Koirat ilmaisivat lisäksi lattian rajassa ja ulkoseinien alaosissa olevia kotelointeja, lattialuokkuja sekä pistorasioita. Toinen homekoiraporukka merkkasi paljon ikkunan edustoja, sähköläpivientikohtia ja kotelointeja. Homekoiraraportissa painotetaan, että koirien merkitsemät paikat eivät välttämättä ole hajun lähteiden läheisyydessä, vaan hajut voivat kulkeutua havaittuihin ilmapuotokohtiin kauempaa ilmapvirtausten mukana. (Sagulin, 2015, Ryhti, 2015)

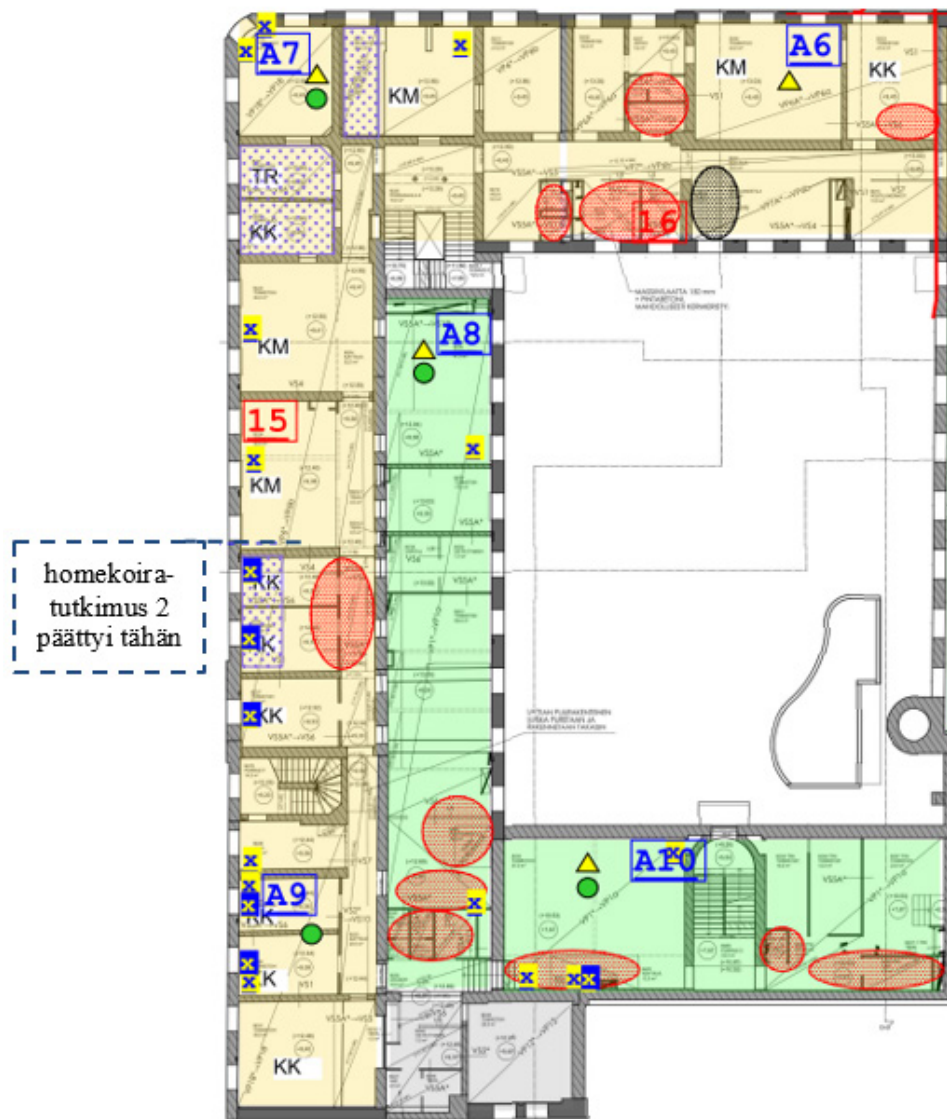


Kuva 43. Ensimmäinen case-kohte, peruskorjauksen ensimmäisen vaiheen 1. kerros. Vihreällä värillä on merkattu kaksoislaattapalkistoinen betonivälipohja, keltaisella puurakenteinen ja sinertävällä betonirakenteinen alapohja. Rakenneavaus A5 oli pohjakuvasta poiketen betonirakenteisen alapohjan alueella. Homekoiran merkitsemät kohdat on merkitty rasteilla. Homekoiratutkimus 2 ei ulottunut rakennuksen ensimmäiseen kerrokseen asti. (Heino 2015.)

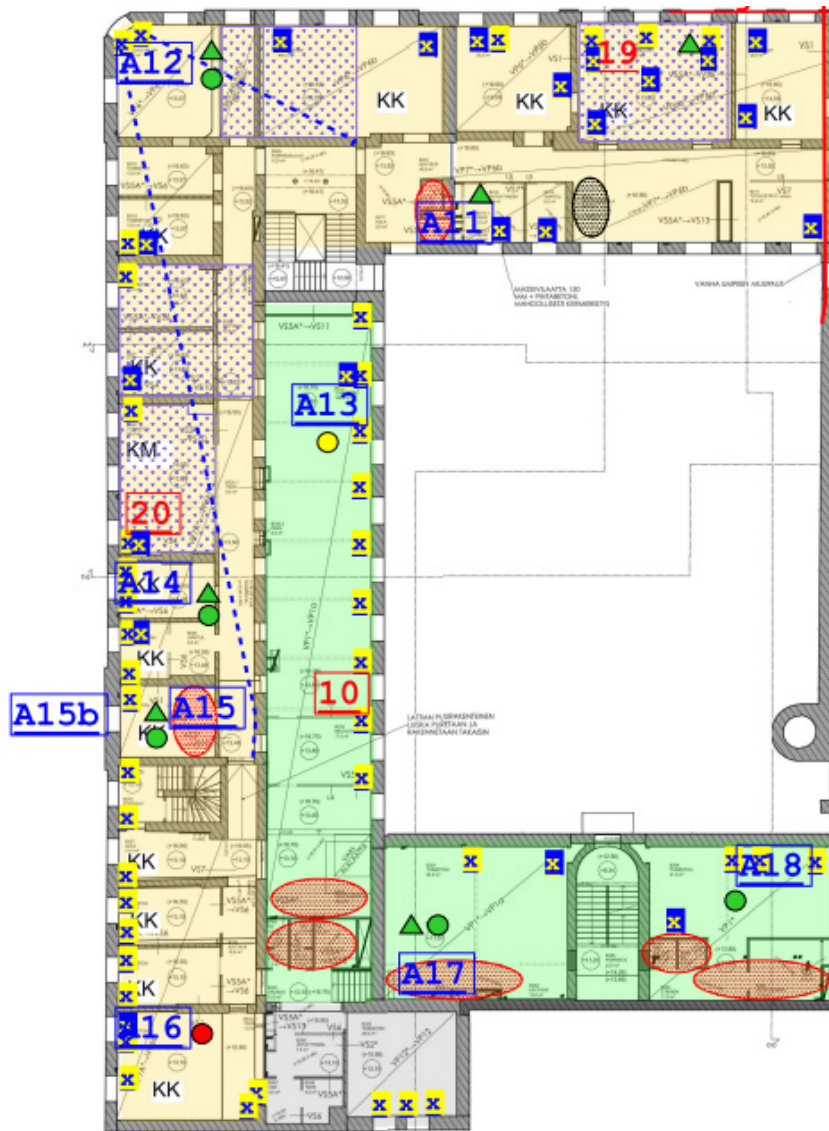
| | | | |
|---|--|---|---|
|  | Betonirakenteinen alapohja | <u>YLÄPUOLELLA:</u> | |
|  | Pihakansirakenne | KM | Koristemaalattu tikkurappaus |
|  | Puuvälipohjat | TR | Maalattu tikkurappaus |
|  | Betoninen kaksoislaattapalkisto | KK | Kipsilevytetty katto |
|  | Massiivibetonilaatta |  | Riskialueet Merkittyjen alueiden lisäksi kaikilla ulkoseinillä |
|  | = homekoirahavainto, tutkimus 1 |  | Koristemaalaus alapuolella |
|  | = homekoirahavainto, tutkimus 2 | | |
|  | mikrobi-ilmanäyte | | |
|  | materiaalinäyte | | |
|  | ei viitettä vaurioon | | |
|  | epäily mikrobilähteestä rakennuksesta | | |
|  | vahva viite mikrobilähteestä rakennuksesta | | |

Kuva 44. Merkintöjen selitykset kuviin: Kuva 43, Kuva 45 ja Kuva 46 (Heino 2015.)

Kuva 43 esittää peruskorjauksen ensimmäistä osaa rakennuksen ensimmäisen kerroksen osalta. Tässä osassa homekoiratutkimuksen teki ainoastaan ensimmäinen koiraporukka. Betonisen kaksoislaattapalkiston alueella homekoirat merkitsivät ainoastaan kaksi kohtaa, joista toinen oli ulkoseinän läheisyydessä. Verrattaessa aluetta puuvälipohjan (kuvassa keltainen alue) tai betonialapohjan (kuvassa sinertävällä) alueisiin, huomataan, että koirat ovat merkanneet näillä alueilla moninkertaisen määrän paikkoja. Toisessa kerroksessa (Kuva 45) kaksoislaattapalkiston alueella on 5 merkattua kohtaa, joista yhden on merkannut molempien porukoiden koirat. Kaikki merkatut kohdat ovat seinälinjoilla. Puuvälipohjan alueella merkattuja kohtia ulkoseinälinjoilla on tiheimmin kuin betonivälipohja-alueilla. Kolmannessa kerroksessa (Kuva 46) myös kaksoislaattapalkiston alueella koirat ovat merkanneet ulkoseinälinjoja tiheästi, mutta tässäkin kerroksessa puuvälipohjien alueella merkintöjä on selvästi enemmän. Kuvista huomataan myös, että eri koirien merkkaukohdat poikkeavat selkeästi toisistaan. Tämä voi johtua esimerkiksi koirien tarkkaavaisuudesta, koulutustasosta tai eri homeiden tunnistuskyvystä.



Kuva 45. Peruskorjauksen ensimmäisen vaiheen 2. kerros. (Heino 2015.)



Kuva 46. Ensimmäinen case-kohde, peruskorjauksen ensimmäisen vaiheen 3 kerros. (Heino 2015.)

Homekoiratutkimuksien perusteella välipohjarakenteisiin määritettiin rakenneavauskohdat. Kaksoislaattapalkistoon määritettiin yhteensä kuusi rakenneavausta, jotka toteutettiin toukokuussa 2015 kaksoislaattapalkiston ylälaatan kautta. Rakenneavaukset dokumentoitiin, arvioitiin aistinvaraisin keinoin ja osasta avauksista otettiin huhtikuun lopussa materiaalinäytteet, jotka analysoitiin laboratoriossa. Rakenneavauskohdat on merkattu kuviin 43, 45 ja 46 merkinnöin A2, A8, A10, A13, A17 ja A18. Pohjapiirustuksiin materiaalinäytteet on merkattu ympyrällä, jonka väritys kertoo, viittasiko näytteen analyysituloks mikrobivaurioon vai ei.

8.1.2 Tutkimustulokset

Taulukkoon 1 on kerätty vuonna 2015 kaksoislaattapalkistoon tehtyjen tutkimusten tulokset yksinkertaistettusti. Kuten taulukosta voidaan havaita, eri menetelmin saatujen mikrobianalyysien tulokset vaihtelevat merkittävästi, minkä vuoksi kotelotiloissa olevan materiaalin vauriolaajuutta on hankala määrittää. Taulukkoon merkatut qPCR-näytetulokset ja mikrobi-ilmanäytetulokset on otettu huonetiloista ennen rakenneavausten tekoa. Niiden tulosten perusteella ei voida määrittää, liittyykö havaittu viite vauriosta kaksoislaattapalkiston kotelotiloissa olevan materiaalin vaurioitumiseen vai johonkin muuhun mikrobilähteeseen.

Taulukko 1. Kaksoislaattapalkistorakenteisiin vuonna 2015 tehtyjen tutkimusten tulokset koottuina avaus- ja tilakohtaisesti. HKT2-merkintä tarkoittaa toisen homekoiratutkimuksen päättymistä merkattuun tilaan ja KJ-merkintä tarkoittaa kosteus- tai mikrobivaurioon viittaavaa jälkeä. (Heino 2015.)

| Avaus nro | tila | qPCR-näyte | Mikrobi-ilmanäyte | Materiaali-näyte | Homekoira-tutkimus 1 | Homekoira-tutkimus 2 | Aistivaraiset havainnot |
|-----------|------|-------------|-------------------|------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| 1. kerros | | | | | | | |
| A2 | B127 | ei viitettä | ei viitettä | viite | - | | KJ |
| Vertailu | B139 | epäily | viite | | merkintä | | |
| 2. kerros | | | | | | | |
| A8 | B232 | ei viitettä | epäily | ei viitettä | merkintä | | KJ |
| | | | | | | HKT2 | |
| A10 | B252 | epäily | epäily | ei viitettä | merkintä | merkintä | hajua, KJ |
| 3. kerros | | | | | | | |
| A13 | B334 | ei näytettä | ei näytettä | epäily | merkintä | merkintä | KJ |
| A17 | B351 | epäily | ei viitettä | ei viitettä | merkintä | merkintä | - |
| A18 | B354 | ei näytettä | ei näytettä | ei viitettä | merkintä | merkintä | KJ |

Kaikkien välipohjarakenteisiin tehtyjen tutkimusten ja niiden tulosten perusteella kaikki betonirakenteisten kaksoislaattapalkistojen kotelotiloissa olevat muottilaudat ja täytemateriaalit suositeltiin purettavan peruskorjauksen yhteydessä. Vanhojen muottilautojen ja täyttömateriaalien jättämistä rakenteeseen pidettiin liian suurena kokonaisriskinä, koska rakenteissa havaittiin eri tutkimusmenetelmin selviä kosteus- ja mikrobivaurioon viittaavia tuloksia. Lisäksi rakenteista tapahtuvaa ilmavuotoa pidettiin hyvin hankalana hallita edes perusteellisella tiivistämisellä välipohjarakenteissa olevien runsaiden ilmatilojen ja rakenteiden puutteellisen tiiviyn vuoksi. Tulevaisuudessa alalaattaan tehtävät kiinnitykset tulisivat heikentämään rakenteen tiiviyyttä entisestään. (Heino 2015.)

8.1.3 Mikrobi-ilmanäytteet rakenteen kotelotiloista

Betonisiin välipohjarakenteisiin liittyen otettiin lisäksi neljä kokeellista ilmanäytettä Andersen-keräimillä välipohjarakenteiden kotelotiloista aiemmin tehtyjen rakenneavausten kautta heinäkuussa 2015. Samalla otettiin vertailunäytteet avauksiin liittyvien huonetilojen sisäilmasta. Koska näytteet otettiin sulan maan aikaan, otettiin vertailunäyte myös ulkoilmasta.

Näytteenottomenetelmä

Näytteenotto kotelotiloista oli kokeellinen ja ilmanäytteenottojärjestelmää käytettiin soveltaen, koska järjestelmää ei ole kehitetty tähän tarkoitukseen. Näytteenotto toteutettiin Andersen-keräimillä. Aiemmin tehtyt rakenneavaukset suljettiin ilmatiiviisti muovikalvoilla näytteenottoa edellisenä päivänä. Aluksi huonetiloista otettiin mikrobinäytteet sisäilmasta, mikä tehtiin Asumisterveysohjeen (2003) mukaisesti. Sisäilmanäytteen jälkeen otettiin ilmanäyte kotelotilasta Andersen-keräimillä, joihin liitettiin muoviputket kynsiliittimin. Kynsiliittimet tiivistettiin mahdollisimman ilmatiiviisti kiinni keräimen tulppaosaan. Putken toinen pää työnnettiin rakenneavaukseen tiiviin muovin läpi siten, että muovi tiivistyi putken ympärille. Näytteenotto kesti 4 minuuttia. Normaali näytteenottoaika sisäilmasta kestää 10–15 minuuttia. Koska kotelotiloissa oli paljon pölyävää luonnonmateriaalia, lyhennettiin näytteenottoaikaa reilusti. Tällä tavoin pyrittiin varmistamaan, että mikrobipitoisuudet eivät nousisi yli määritysrajojen. Näytteenottokäytäntö ja -järjestelmä on esitetty alla olevissa kuvissa 47–50. Näytteet analysoitiin laboratoriossa viljelymenetelmällä. Analyysitulokset ovat työn liitteenä (Liite 1).



Kuva 47. Andersen-keräimen korkkiosan ja liitoskappaleen tiivistys.



Kuva 48. Rakenneavauksen ummistus jäykällä, venyvällä muovilla. Muoviin tehtiin putkia varten pienet reiät, joista putket työnnettiin tiiviisti avaukseen.



Kuva 49. Ilmanäytteenotto Andersen-keräimillä kaksoislaattapalkiston kotelotilasta.



Kuva 50. Putket desinfioitiin jokaisen näytteenoton jälkeen vetämällä putken läpi liina, joka oli kostutettiin desinfiointiaineella.

Näytteiden analyysitulokset

Kotelotilojen näytteissä havaittiin vain muutamia homesienisukuja ja näytteet olivat lajistojen suhteen yhteneviä; tunnistettuja lajeja olivat *Cladosporium sp.*, *Penicillium sp.* sekä steriilit sienet. Näytteessä 4 pitoisuudet olivat niin alhaisia, että tarkempaa lajiston määrittelyä ei ollut tehty lukuun ottamatta *Penicillium sp.*-suvun tunnistusta. Kotelotilojen näytteiden osalta on merkillepantavaa, että tyypillisiä nk. kosteusvaurioindikoivia homelajistoja ei tavattu.

Kaikissa näytteissä aktinomykeetti- eli sädesienipitoisuus jäi alle määritysrajojen eli varmasti voidaan sanoa vain, että pitoisuudet sekä huone- että kotelotiloissa jäivät alle Asu-
misterveysohjeen normaalina pidettävän pitoisuuden raja-arvon, joka on 10 kpl/m³. Pidemmällä mittausajalla, olisi tulos kotelotiloissa voinut olla eri.

Kahdessa kotelotilan näytteessä (näytteet 6 ja 8) *Penicillium*-pitoisuus oli sisäilmanäytettä suurempi vähintään toisella alustoista ja näytteessä 2 pitoisuus oli lähes yhtä suuri sisäilmanäytteen kanssa. Näytteessä 8 pitoisuus oli niin selkeästi ulkoilman pitoisuutta suurempi, että kyseessä on rakenteen sisältä peräisin oleva mikrobikasvusto. Myös *Cladosporium*-pitoisuus oli näytteessä 8 sisä- ja ulkoilman pitoisuutta huomattavasti suurempi.

Yhden huonetilan näytteessä ulkoilmaan verrattuna koholla oli steriilit sienet, joka oli selvästi koholla myös saman tilan välipohjakotelosta otetussa näytteessä. Kotelotilasta otetussa näytteessä steriilien sienien pitoisuus oli jopa yli kymmenkertainen huonetilasta

otettuun näytteeseen verrattuna. Tässä tapauksessa, voidaan olettaa, että huonetilan kohonnut pitoisuus johtuu kotelotiloissa olevan materiaalin mikrobeista.

Jos menetelmää tullaan jatkossa käyttämään, tulisi tapauskohtaisesti miettiä, onko mittausaikaa tarpeen lyhentää. Jos kotelotiloissa on paljon pölyävää tai hienojakoista materiaalia, tulee mittausaikaa lyhentää huonetilasta otettavaan vertailunäytteeseen verrattuna. Tässä tutkimuksessa mittausajaksi valittiin neljää minuuttia, vaikka huonetilojen sisäilmanäytteet otettiin 15 minuutin kestoisina. Tulosten perusteella mittaus olisi voitu toteuttaa myös pidempänä, mahdollisesti jopa vastaavan pituisena kuin huoneilmasta otetut näytteet, sillä mikrobianalyysillä saadut pitoisuudet jäivät niin pieniksi. Jos mittaus toteutetaan yhtä pitkäkestoisena kuin huonetilassa tehty mittaus, on tuloksia suoraviivaisempaa verrata toisiinsa. Toisaalta, jos mittaus kestää liian pitkään, voivat mikrobipitoisuudet olla yli määrittysrajojen.

8.1.4 Mikrobinäytteiden tulosten vertailu

Ontelotilasta otettavalle ilmanäytteelle ei ole olemassa pitoisuuksien raja-arvoja, joten saatuja mittaustuloksia voidaan pitää ainoastaan suuntaa antavina. Huoneilmasta ja kotelotiloista otettuja mikrobi-ilmanäytteitä tulkittaessa on huomioitava, että näytteenottoaika kotelotilasta oli vain reilun neljäosan huonetilasta ja ulkoilmasta otettuun näytteenottoaikaan verrattuna. Jos kotelosta olisi otettu tavanomainen, 15 minuutin kestoinen näyte, olisivat pitoisuudet todennäköisesti olleet huomattavasti korkeammat. Toisaalta, rakenteen sisään kotelotilaan ei ole suoraa yhteyttä ulkoilmasta, jolloin ontelosta todettavia tavanomaisia ulkoilman mikrobeja voidaan pitää tavanomaisuudesta poikkeavana esiintymänä.

Huhtikuussa samoista huonetiloista otettujen ilmanäytteiden tulokset olivat lähes vastaavat. Heinäkuussa otettujen näytteiden tuloksista ainoastaan yksi huonetilojen ilmanäytteistä tulkittiin viittaavan mikrobivaurioon, mutta aiemmin otetuissa näytteissä tulokset tulkittiin viittaavan vaurioon tämän huonetilan lisäksi eräässä toisessa huonetilassa. Kun verrataan kotelotiloista aiemmin otettuja materiaalinäytteitä heinäkuussa kotelotiloista otettuihin ilmanäytteisiin, viittaavat tulokset vaurioon molemmissa tapauksissa vain yhdessä ja samassa kotelotilassa olevien materiaalien vaurioon.

Tulosten perusteella voidaan sanoa, että jossain tapauksissa kotelotiloista otetuista ilmanäytteistä voi olla hyötyä vauriolaajuuden kartoittamiseen. Kotelotiloista otetulla ilmanäytteellä päästään tämän tutkimuksen perusteella samaan tulokseen kotelotiloissa olevan luonnonmateriaalin vaurioitumisen suhteen kuin materiaalinäytteenkin perusteella. Tämän tutkimuksen otos oli kuitenkin hyvin pieni.

Jos kotelotilasta otetaan ilmanäyte materiaalinäytteen sijaan, ei rakenteeseen tarvitse tehdä suurta rakenneavausta. Ilmanäytteellä voidaan lisäksi mahdollisesti kartoittaa kotelotilan materiaalin vauriota suuremmalta tilavuudelta kuin yksittäisestä kohdasta otetulla materiaalinäytteellä. Ilmanäytteen ottaminen materiaalinäytteen sijaan on kuitenkin selvästi työläämpää ja hankalampaa. Lisäksi, koska suuremmasta rakenneavauksesta voidaan samalla tehdä aistinvarainen kartoitus, ei ilmanäytteen ottamisella materiaalinäytteen sijaan tunnu olevan suurta hyötyä.

8.2 Kohde 2: Korjausvaihe käynnissä, koulurakennus

Seuraava tutkimuskohde on yhdessä Helsingin seutukunnista sijaitseva koulurakennus. Rakennus on rakennettu kolmessa osassa vuosina 1949–1954. Alkuperäisen työselityksen mukaan vuonna 1950 valmistuneessa A-osassa välipohjat tehtiin pääasiassa kaksoislaattaholvina eli kaksoislaattapalkistorakenteisina. Peruskorjauksen purkutöiden aikana todettiin, että vanhat muottilaudat olivat vielä rakenteen sisällä. A-osan kellarin ja ensimmäisen kerroksen välisessä välipohjassa oli muottilautojen lisäksi täyteaineena hienoa hiekkaa, mahdollisesti lentotuhkaa, jonka kerrospaksuus vaihteli välillä 0–100 mm. A-osan yläpohja oli alalaattapalkisto betonisella ylälaataalla. Rakenteen kotelotiloissa lämmöneristeenä ja täyttömateriaalina oli rakennusjätettä, sammalta ja turvetta kuten paikoin A-osan välipohjissa. (Rakennustekniset työselitykset 1949–1954.)

A-osan yläpohja oli alalaattapalkisto, jonka päällä oli betoninen palopermanto. Yläpohjarakenteen kotelotilojen korkeus oli paikoin jopa 1200 mm ja täyttömateriaalia oli noin 500 mm paitsi ulkoseinien vieressä koko kotelotilan korkeudelta. Välipohjarakenteiden kotelotilojen korkeus oli noin 300 mm. Yläpohjan alalaattapalkisto ja palopermanto toimii kylmän ullakkotilan lattiarakenteena ja tilan yläpuolella on rakennuksen vesikattorakenteet. Tilassa on myös ilmanvaihtokonehuone. Rakenteen alapuolella on korkea liikuntasali. (Hänninen ja Kostilainen 2015.)

Rakennuksen B- ja C-osassa välipohjat oli toteutettu alkuperäisen työselityksen mukaan pääasiassa ylälaattaisena avopalkkiholvina, lukuun ottamatta viimeisenä rakennetun C-osan käytäviä, jotka tehtiin kaksoislaattaholvina. Myös B-osassa osa välipohjista oli kaksoislaattapalkistorakenteisia. Rakenteen kotelotiloissa oli täyttömateriaalina kutterinlastua sekä tiili- ja laastimurskaa. Myös vanhat muottilaudat olivat osittain vielä rakenteen sisällä. (Rakennustekniset työselitykset 1949–1954.)

8.2.1 Peruskorjauksen ensimmäinen vaihe

Peruskorjauksen ensimmäisen vaiheen purkutyöt alkoivat kesällä 2014. Korjauksen ensimmäiseen vaiheeseen kuuluivat rakennuksen B-osa ja osittain A-osan kellarikerros. Purkutöiden edetessä välipohjien aiheuttamaa mahdollista sisäilmariskiä arvioitiin ulkopuolisen sisäilmakonsultin toimesta. Kaksoislaattapalkistorakenteisiin välipohjiin tehtiin kattavat tutkimukset rakenneavauksin.

Rakenneavauksia tehtiin välipohjarakenteisiin yhteensä 26 kappaletta ja 15 avauksesta otettiin materiaalinäyte joko kotelotilan täytemateriaalista tai muottilaudasta. Rakenneavaukset valokuvattiin ja arvioitiin aistinvaraisesti hajun ja silmämääräisen tarkastelun avulla. Havainnot dokumentoitiin valokuvin tutkimusraporttiin. Rakenneavausten perusteella saatiin selville rakenteen dimensiot, täytemateriaalit ja muottilautojen olemassaolo. Kotelotiloissa olevan materiaalin, varsinkin muottilautojen kunto vaihteli silmämääräisen arvion perusteella merkittävästi eri kotelotilojen välillä (Kuva 51 ja Kuva 52). (Malinen ja Palviainen 2014.)



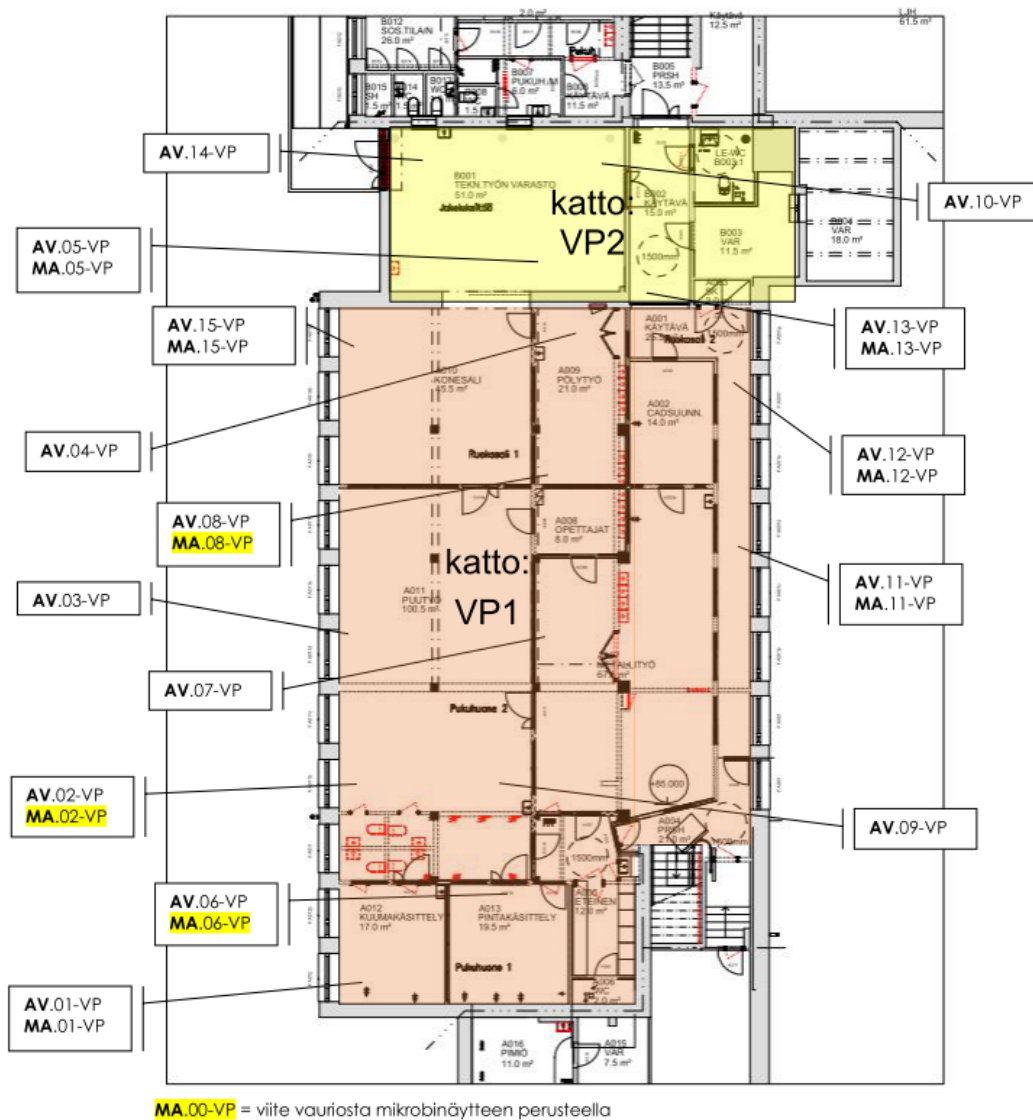
Kuva 51. Rakenneavaus on tehty ohuen alalaatan kautta. Ei täyttömateriaalia tämän avauksen kohdalla. Muottilaudat vaikuttavat erittäin hyväkuntoisilta.



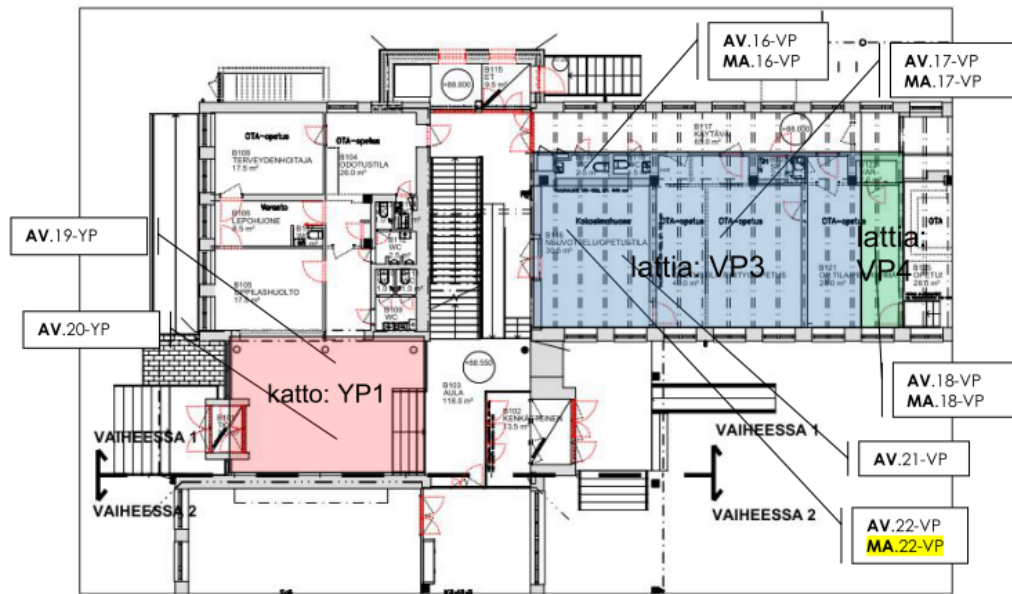
Kuva 52. Rakenneavaus on tehty välipohjan alalaatan kautta. Muottilaudat ovat selvästi vaurioituneet, mutta tutkimushetkellä kuivat.

Välipohjien tutkimusten perusteella määritettiin toimenpide-ehdotukset alueittain. Korjausvaihtoehtoina annettiin joko välipohjien kotelotiloissa olevan materiaalin purkaminen, kotelotilojen puhdistaminen sekä rakenteiden ilmatiivistäminen tai ainoastaan välipohjarakenteiden ilmatiivistäminen joko epätiiveyskohtien tai koko rakenteen osalta. Kotelotiloissa olevat materiaalit määritettiin kokonaan poistettavaksi:

- alueilla, joissa täytemateriaali oli selvästi havaittu vaurioituneeksi joko aistinvaraisin keinoin tai mikrobiologisen analyysin perusteella.
- alueilla, joissa tiedettiin olleen suuri kosteusrasitus esimerkiksi huolto- ja siivoustöiden vuoksi.
- alueilla, joissa aiempi tai tuleva käyttötarkoitus teki alueista erityisen riskialttiita vaurioitumiselle esimerkiksi märkätilat tai vesipisteet.
- tiloissa, joiden käyttötarkoituksen vuoksi vaadittiin erityistä varmuutta sisäilman laadun suhteen esimerkiksi jatkuvassa käytössä oleva luokahuone tai työhuone. (Malinen ja Palviainen 2014.)

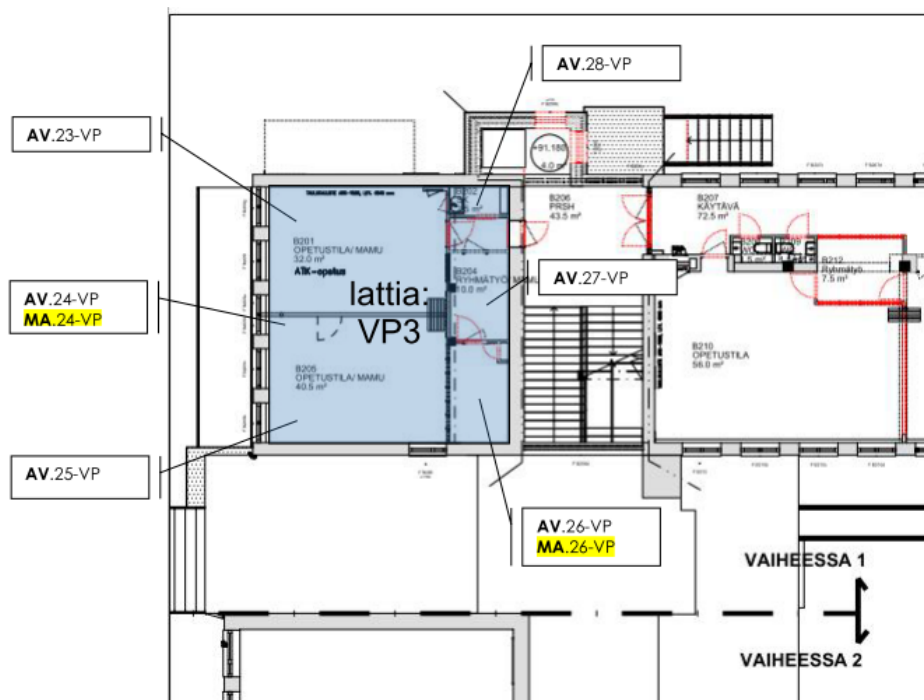


Kuva 53. Peruskorjauksen 1. vaiheessa tehdyt rakenneavaukset (merkintä AV.00) kaksoislaattapalkistorakenteisiin välipohjiin kellarikerroksessa ja otetut materiaalinäytteet (MA.00). 3 näytteessä 9:stä oli viite vauriosta mikrobinäytteen bakteeripitoisuuden perusteella. (Malinen ja Palviainen 2014.)



MA.00-VP = viite vauriosta mikrobinäytteen perusteella

Kuva 54. Peruskorjauksen ensimmäisessä vaiheessa 1. kerroksessa tehty rakenneavaukset (merkintä AV.00) ja otetut materiaalinäytteet (MA.00). Yhdessä materiaalinäytteessä neljästä havaittiin viite mikrobivauriosta bakteeripitoisuuden perusteella. (Malinen ja Palviainen 2014.)



MA.00-VP = viite vauriosta mikrobinäytteen perusteella

Kuva 55. Peruskorjauksen ensimmäisessä vaiheessa 2. kerroksessa tehty rakenneavaukset (merkintä AV.00) ja otetut materiaalinäytteet (merkintä MA.00). Molemmissa otetuissa materiaalinäytteissä havaittiin viite mikrobivauriosta bakteeripitoisuuden perusteella. Tässä tilassa havaittiin jo ennen rakenneavausten tekoa selvä tavanomaisesti poikkeava haju. (Malinen ja Palviainen 2014.)

Peruskorjauksen ensimmäisen vaiheen alueella olevista kaksoislaattapalkistorakenteista päädyttiin lopulta purkamaan kaikkien kotelotilojen täytemateriaalit ja muottilaudat. Kellaritiloissa välipohjan sisällä olevat muottilaudat ja täyteenä ollut hieno hiekka poistettiin rakenteen alapuolelta ja muuten rakenteet purettiin ylälaatan kautta. (Heiska 2015)

Alakautta tapahtuva purku toteutettiin siten, että alalaatta purettiin kotelotilojen kohdalta jättäen palkkien viereen noin 50 mm kaistaleet betonia. Ylälaatan ja palkkien betonipintoihin kiinnittyneet muottilautojen osat hiottiin irti betonipinnoista. Lisäksi palkkien pinnat ja ylälaatan alapinta desinfioitiin hapettamalla orgaanisella peroksidiliuoksella. Uudeksi alapinnaksi välipohjalle asennettiin kaksi kipsilevyä, joiden päälle asennettiin uudet eristeet. (Heiska 2015.)

Kaksoislaattapalkiston yläkautta muottilautojen ja täytemateriaalin poistaminen tehtiin purkamalla ylälaatta rakenteen kotelotilojen kohdilta. Jäljellä jäävistä betonipinnoista irrotettiin kaikki irtoava aines teräsharjalla. Kotelotiloihin asennettiin 5 cm paksu palovilla ja kaksi 10 cm paksua EPS-levyä. Eristeiden ja palkkien päälle asennettiin rauditusverkot ja valettiin uusi 80 mm paksu teräsbetoni-laatta. Laatta ankkuroitiin seiniin ja palkkeihin aiemmin asennetuin raudoittein. Työvaiheita on esitetty kuvissa 56 ja 57. (Heiska 2015.)



Kuva 56. Kaksoislaattapalkiston ylälaatta sekä kotelotiloissa olleet muottilaudat ja täytemateriaalit on purettu.



Kuva 57. Kaksoislaattapalkistorakenteisen välipohjan uudet eristeet ja ylälaatan rauditus on asennettu.

Kun purkaminen tehtiin kaksoislaattapalkiston yläkautta, hinnaksi tuli noin 420 €/m² (alv. 0 %). Hintaan sisältyy ylälaatan, muottilautojen ja täytemateriaalin purkaminen sekä uusien eristemateriaalien ja teräsbetonilaatan asentaminen. Kun purkaminen tehtiin alalaatan kautta, työn hinta oli noin 370 €/m² (alv. 0 %). Hintaan sisältyy alalaatan, täytemateriaalin ja muottilautojen purkaminen, betonipintojen hionta ja desinfiointi sekä uusien eristeiden ja kipsilevyjen asennus. (Heiska 2015.)

Hintaerosta huolimatta työmaanjohdon mielestä purkaminen oli kannattavampaa tehdä poistamalla rakenteen ylälaatta. Muottilautojen ja täytemateriaalin purkaminen rakenteen kotelotiloista alakautta oli huomattavasti hitaampaa, työläämpää ja pölynhallinnasta tuli hankalampaa. Lisäksi yläkautta purkaessa rakenteen alalaatta jäi paikoilleen, jolloin alakerran kattopinnaksi jäi betonipinta uuden kipsilevyypinnan sijaan. Betonipinta on kipsilevyypintaa tukevampi, jolloin kattoon on helpompi tehdä kiinnityksiä. Kotelotiloihin saatiin lisäksi huomattavasti helpommin ja paremmin asennettua eristemateriaalit, kun ylälaatta purettiin ja vanha betonialalaatta jätettiin paikoilleen. Suvanto (2015) kuitenkin tarkentaa, että purkusuunta kannattaa valita aina tapauskohtaisesti työmaan aikataulun ja tahdistavien työvaiheiden mukaan. (Suvanto 2015.)



Kuva 58. Tilan yläpuolella olevan välipohjan korjaukset ovat valmiit. Uutena alapintana on kipsilevytys.

8.2.2 Peruskorjauksen toinen vaihe

Peruskorjauksen toisen vaiheen rakennustöiden alkaessa pyydettiin ulkopuolisen sisäilmakonsultin toimenpide-ehdotuksia välipohjarakenteiden suhteen. Kaksoislaattapalkistorakenteiden laajuudesta tai niiden sisältämistä materiaaleista ei ollut varmaa tietoa tässä vaiheessa. Välipohjarakennetyypit ja kotelotiloissa olevat materiaalit selvitettiin rakenneavauksin. Työmaan aikataulusta johtuen suositeltiin välipohjien ja A-osassa olevan yläpohjarakenteen täyttömateriaalit ja muottilaudat purettavaksi. Purkusuositukseen vaikutti myös ensimmäisessä vaiheessa tehty päätös välipohjien purkamisesta silloin tehdyistä laajoista tutkimuksista huolimatta. (Hänninen ja Kostilainen 2015.)

Kaikki kaksoislaattapalkistorakenteiset välipohjarakenteet purettiin rakenteiden alalaattaa ja palkistoa lukuun ottamatta. Välipohjien korjaukset toteutettiin kuten peruskorjauksen ensimmäisen vaiheen alueilla rakenteen yläkautta tehty purku- ja korjaustyöt. A-osan yläpohjarakenteen kotelotilojen täytemateriaalien ja muottilautojen poistamisesta ei ollut tehty päätöstä diplomityön viimeistelyvaiheen yhteydessä tehdyn työmaakierroksen aikana. Rakenne on kuvattu kotelotilasta käsin kuvassa Kuva 59. Kaksoislaattapalkiston

purkaminen yläkautta tulisi olemaan paikoin erittäin hankalaa ullakolla olevan tilan puutteen vuoksi. Osittain rakenteen ontelotilat ovat niin korkeat, että materiaalit voisi poistaa ylälaattaa kokonaan purkamatta. (Heiska 2015.)



Kuva 59. Kuvassa on A-osan yläpohjarakenteen kaksoislaattarakenteen kotelotila. Kotelotilat olivat paikoin 1200 mm korkeat, joten täyttömateriaalin ja muottilautojen poistaminen onnistuisi laattaa kokonaan purkamatta. (Hänninen ja Kostilainen 2015.)

8.3 Kohde 3: Korjaus toteutettu, koulurakennus

Kohde on Helsingissä sijaitseva viisikerroksinen koulurakennus, joka on rakennettu useassa osassa. Rakennuksen ensimmäinen osa, nykyinen A-osa, on valmistunut vuonna 1878. Nykyinen B-osa on valmistunut pääosin vuonna 1905. Vuonna 1927 B-osan itäpuolelle valmistui laajennusosa ja samalla laajennusosan viereistä osaa rakennuksesta korotettiin yhdellä kerroksella. Rakennuksen kantavat seinät ovat tiiliseiniä ja välipohjatyyppit vaihtelevat osien rakennusajankohdan mukaisesti. A-osassa eli rakennuksen vanhimmassa osassa on käytetty pääosin puuvälipohjia. Seuraavaksi rakennetussa osassa on käytetty puuvälipohjia, joissa kantavana rakenteena ovat rautapalkit. Uusimmassa osassa eli B-osan laajennusosassa välipohjarakenteet ovat teräsbetonisia ala- ja kaksoislaattapalkistoja. Kaikissa välipohjatyypeissä on käytetty eristemateriaalina rakennusjätettä ja luonnonmateriaaleja esimerkiksi sammalta, turvetta, hiekkaa ja olkea. (Lunkka 2004.)

Rakennus on suojeltu asemakaavassa merkinnällä ark. Merkintä tarkoittaa, että rakennus on rakennustaiteellisesti ja kulttuurihistoriallisesti merkittävä. Rakennukseen ei esimerkiksi saa suorittaa muutostöitä, jotka tarvelevät sen sisätilojen rakennustaiteellista tai kulttuurihistoriallista arvoa tai tyyliä. Rakennus on peruskorjattu 1970-luvun lopulla ja viimeisimmäksi vuosien 2004–2006 aikana. (Lunkka 2004.)

1970-luvulla rakenteiden ilmatiiviyyden merkitystä sisäilman laatuun ei vielä tiedostettu. Silloin toteutetussa peruskorjauksessa lattiarakenteisiin avattiin tuuletusaukkoja välipohjarakenteista huonetilaan. Osassa tiloista puhdasta tuloilmaa kuljetettiin tarkoituksella välipohjarakenteiden kautta siirtoilmana käytävätiloista luokka- ja työhuonetiloihin. Tämä on oletettavasti vaikuttanut merkittävästi sisäilman laatuun ja on selittävänä tekijänä käyttäjien oireiluun. Lisäksi alakattorakenteiden tiiviys oli heikko ja käyttäjien mukaan katoista varisi hienoa hiekkaa ja pölyä alla oleviin huonetiloihin. (Huttunen, 2005a)

8.3.1 Peruskorjaus 2004–2006

Viimeisimmän 2000-luvun alussa tehdyn peruskorjauksen yhtenä tärkeänä tavoitteena oli poistaa rakennuksessa olevat sisäilmaongelmat. Kohteen ilmanvaihtojärjestelmä uusittiin peruskorjauksessa kokonaisuudessaan vastaamaan uudisrakennusta. Myös välipohjarakenteiden vaikutus sisäilman laatuun otettiin tarkasti huomioon heti korjauksia suunniteltaessa. (Huttunen 2005a.)

Ennen peruskorjausta vuonna 2003 arvioitiin rakennuksen A-osan lähtötietojen ja rakennetutkimusten tarvetta. Puuvälipohjien kunnon kartoittamiseen arvioitiin heti alussa tarvittavan runsaasti rakenneavauksia varsinkin märkätilojen ja ulkoseinien alueille sekä pistokoeluontoista mikrobikartoitusta. Lähtökohtaisesti oletettiin kaikkien välipohjatäytteiden uusimistarve niissä esiintyvien vanhojen mikrobikasvustojen ja rakenteiden heikon ilmatiiveyden vuoksi. (Huttunen ja Aho 2003.)

Vuonna 2004 rakennuksen A-osan puuvälipohjien sammal- ja turvetäytöstä otettiin rakenneavausten kautta seitsemän materiaalinäytettä, joiden mikrobipitoisuutta arvioitiin laboratoriossa viljelymenetelmällä. Osa näytteistä analysoitiin viljelyn lisäksi muilla keinoin (elektronimikroskooppitarkastelu ja röntgenmikroanalyysointi). Näytteistä kuusi otettiin kohdista, joissa täytemateriaali todettiin aistinvaraisesti vaurioitumattomaksi ja yksi kohdasta, jossa tiedettiin välipohjan aiemmin kastuneen vesikattovuodon seurauksena. (Huttunen 2004.)

Viljelymenetelmällä tehdyn mikrobiologisen analyysin perusteella näytteessä 7, jonka tiedettiin olevan vesivuotokohdassa, todettiin runsaasti elinkykyistä sieni- ja bakteerikasvustoa mukaan lukien sädesientä. Mikrobinäytteiden viljelymenetelmin saadut analyysitulokset ovat taulukossa 2. Asumisterveysohjeessa (2003) määritettyjen kosteusvaurioon viittaavien raja-arvojen ylittäviä mikrobipitoisuuksia todettiin lisäksi kolmessa muussa näytteessä, mutta selvästi pienemmissä pitoisuuksissa kuin vauriokohdan näytteessä. Muilla menetelmillä todettiin näytteissä olevan lisäksi kuolleita mikrobi-itiöitä, vanhaa kuivunutta sienirihmastoja ja muita epäpuhtauksia. (Huttunen 2004.)

Taulukko 2. Puuvälipohjarakenteiden turve- ja sammaltäytteistä otettujen materiaalinäytteiden viljelymenetelmin saatujen mikrobiologisten analyysien tulokset.. Näyte 7 on otettu vesivuotokohdasta. (Huttunen 2004.)

Analyysitulokset:

| Näyte | Mesofiiliset sienet | | Mesofiiliset bakteerit | |
|-------|-------------------------|--------------------|-------------------------|----------------|
| | Hagem-agar | DG18-agar | THG-agar | |
| 1. | Yhteensä | - | Yhteensä | 8800 |
| | | <i>Penicillium</i> | | |
| 2. | Yhteensä | 1900 | Yhteensä | 62700 |
| | <i>Penicillium</i> | 1900 | <i>Penicillium</i> | 2500 |
| 3. | Yhteensä | 4100 | Yhteensä | 102700 |
| | <i>Penicillium</i> | 3600 | <i>Penicillium</i> | 3100 |
| | steriilit | 500 | <i>Scopulariopsis</i> * | 600 |
| 4. | Yhteensä | 21200 | Yhteensä | 35500 |
| | <i>Penicillium</i> | 20900 | <i>Penicillium</i> | 12400 |
| | <i>Paecilomyces</i> * | 300 | <i>Mucor</i> * | 500 |
| 5. | Yhteensä | - | Yhteensä | 89100 |
| 6. | Yhteensä | 200 | Yhteensä | 1400 |
| | <i>Penicillium</i> | 200 | <i>Penicillium</i> | 100 |
| | | | <i>Streptomyces</i> * | 700 |
| | | | Muut bakteerit | 700 |
| 7. | Yhteensä | 2272700 | Yhteensä | 1545400 |
| | <i>Penicillium</i> | 2090900 | <i>Penicillium</i> | 890900 |
| | <i>Scopulariopsis</i> * | 181800 | <i>Streptomyces</i> * | 363600 |
| | | | Muut bakteerit | 1181800 |

*=kosteusvaurioon viittaava mikrobi, *Streptomyces*=sädesieni=aktinobakteeri

Peruskorjauksen aikana rakennuksen A-osan puuvälipohjista täytteet purettiin ainoastaan wc- ja märkätilojen kohdilta. Uusi lattiarakenne tehtiin valamalla profiilipellin ja teräsbetonilaatan muodostama liittolaatta vanhan puupalkiston varaan. Lisäksi neljännessä kerroksessa olevan ilmanvaihtokonehuoneen kohdalla välipohjarakenne korvattiin kokonaisuudessaan teräsbetonilaatastoilla. (Huttunen 2005a.)

Vanhojen rakennusmateriaalien poistamista kaikkialta välipohjarakenteista ei pidetty perusteltuna materiaalinäytteiden mikrobianalyysin tuloksista huolimatta. Eri analyysimenetelmillä saatiin ristiriitaisia tuloksia, joten täytemateriaalin yleisestä mikrobiologisesta vaurioitumisasteesta ei voitu tehdä johtopäätöksiä. Tärkeämpänä sisäilman laadun kannalta pidettiin epäpuhtauksien kulkeutumisen estämistä ilmavuotojen yhteydessä sisäilmaan. Rakennuksen A-osan puuvälipohjarakenteet ja niiden liitoskohdat tiivistettiin, jotta rakenteessa olevat epäpuhtaudet eivät pääsisi sisäilmaan. Täytemateriaalin säilyttäminen oli taloudellisten ja rakennussuojelullisten näkökulmien kannalta purkua parempi vaihtoehto. (Huttunen 2004.)

Välipohjarakenteiden seinä-lattia -liittymät tiivistettiin vedeneristemassalla. Vedeneristuksen päälle levitettiin lattianpäällysteen alle tuleva kuitutasoite, jonka liitoskohdat tiivistettiin elastisella saumamassalla tasoitteen kuivuttua. Kattopinnat levytettiin kaksinkertaisella kipsilevytyksellä ja kattolistojen alle jäävät levyjen liittymät tiivistettiin elastisella butyylitiivistysnauhalla. Putkiläpivientien tiivistykset tehtiin erillisillä läpivientiholkeilla. Hormirakenteiden ja välipohjien väliset ilmayhteydet suljettiin siten, että välipohjien hormiin rajoittuvat pinnat tiivistettiin vanerilevytyksillä ja vedeneristysmassalla. (Huttunen 2005a.)

Ilmanvaihtokoneet ja -kanavistot uusittiin rakennuksessa kokonaisuudessaan. Ilmanvaihtojärjestelmä mitoitettiin viranomaisvaatimuksia korkealaatuisempia sisäilmasto-olosuhteita ajatellen. Ulkoilmavirran määrä luokahuoneisiin mitoitettiin rakentamismääräyksissä vaadittua hieman suuremmaksi. Lisäksi ilmanvaihtomäärää ohjataan sisäilman hiilidioksidipitoisuuden ja huonelämpötilan mukaisesti. Hiilidioksidin määrää sisäilmassa pidetään yleisesti ihmisistä lähtöisin olevien epäpuhtauksien mittarina. Tämän lisäksi korjausten toteutuksessa pidettiin huolta ilmanvaihtojärjestelmien puhtaudesta. (Huttunen 2005a.)

Korjausten onnistumiseen kiinnitettiin erityistä huomiota ja työmaan valvontaa pidettiin erittäin tärkeänä varsinkin välipohjien ilmatiivistysten varmistamisessa. Korjausten onnistumista varmistettiin myös tilojen käyttöönoton jälkeen tehtävin seurantamittauksin. Korjauksen teknisen onnistumisen lisäksi pyrittiin parantamaan käyttäjien asenteita aiemmin sisäilmaongelmaista rakennusta kohtaan ennen peruskorjattuihin tiloihin palaamista. (Peruskorjausmuistio 2005.)

8.3.2 Mallihuoneen ilmatiivistyskokeet

Huttusen (2005b) tekemässä tutkimuksessa puuvälipohjarakenteiden ilmatiiviyttä tutkittiin merkkiainekokein kahdessa huoneessa kohteen A-osassa. Huoneet olivat mallihuone, jonka välipohjarakenteisiin oli tehty ilmatiivistyksiä, ja sen yläpuolella oleva huone. Molempien huoneiden seinä-lattia-liittymät oli tiivistetty vedeneristemassalla ja lattiat päällystetty saneerausplaanolla. Mallihuoneen seinä-lattia-liittymät oli tiivistetty lisäksi elastisella saumamassalla ja katto levytetty kaksinkertaisella kipsilevyllä liitoskohdat akryylimassalla tiivistäen. Tiivistykset poikkesivat hieman peruskorjauksessa toteutetuista välipohjien ilmatiivistyksistä.

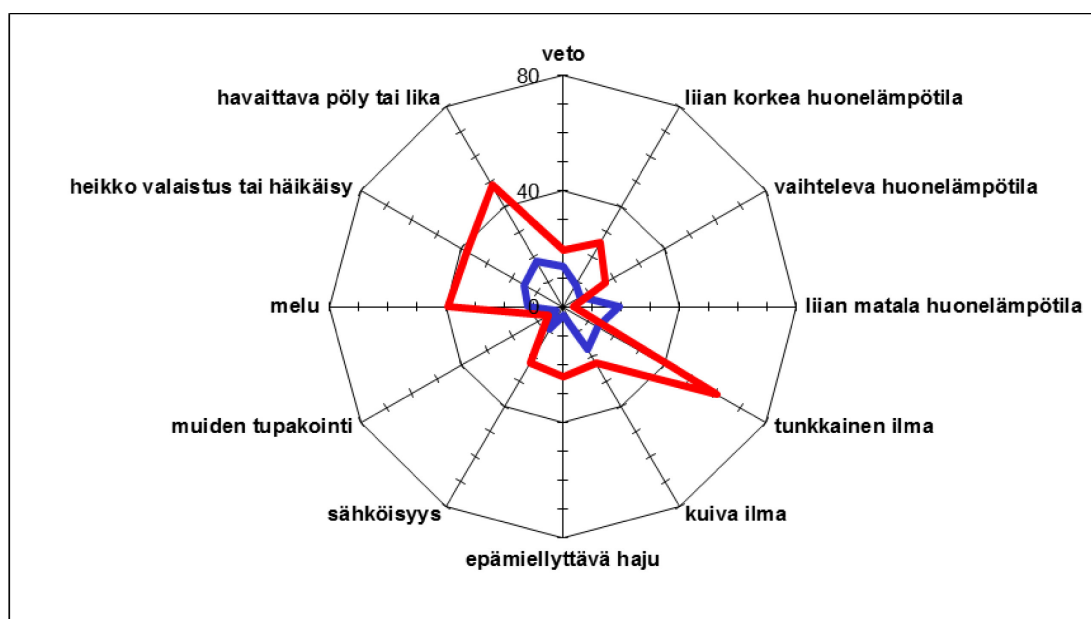
Tutkimuksessa merkkiainekaasua (typpi 95 % ja vety 5 %) laskettiin tutkittavaan tilaan tai rakenteeseen ja toiselta puolelta rakennetta havainnoitiin merkkiaineanalysaattorilla kohtia, joista kaasu läpäisi rakenteen. Tutkimuksen ajan rakennuksen ilmanvaihto oli poissa toiminnasta. Merkkiainekokeen perusteella havaittiin, että mallihuoneen lattian ja seinä-rakenteiden liittymäkohdat eivät olleet tiiviitä kohdissa, joissa elastinen saumamassa oli vaurioitunut lattiatasoitteen kuivumiskutistumasta johtuen. Lisäksi mallihuoneen lattiarakenteeseen laskettu kaasu kulkeutui sähköhormin kautta huonetilaan. Ulkoseinällä sijaitsevassa lvi-hormissa tai patteriläpivienneissä ei havaittu ilmavuotoreittejä huonetilaan. Ylempään välipohjarakenteeseen laskettu merkkiainekaasu kulkeutui paine-eron vaikutuksesta mallihuoneen yläpuoliseen tilaan tiivistämättömistä liittymäkohdista. (Huttunen 2005b.)

Vuonna 2005 korjausten jälkeen samoista huoneista mitattiin ilmavuotoluvut n_{50} , jotka olivat 1,96 1/h ja 1,39 1/h. Vuotoja tapahtui lähinnä väliseinien LVIS-läpivienneistä, väliovista sekä kunnostettujen ikkunoiden kautta. Tulokset olivat selvästi paremmat kuin yleensä vastaavanlaisissa rakennuksissa yksittäisistä huoneista saadut tulokset, jotka ovat olleet suuruusluokkaa 5...20 1/h. Samalla uusittiin merkkiainekoe siten, että huonetilojen väliseen välipohjarakenteeseen laskettiin merkkiainekaasua, joka oli koostumukseltaan 95 % typpeä ja 5 % vetyä. Merkkiainekaasua ei havaittu kulkeutuvan huonetiloihin normaaliolosuhteissa. (Huttunen 2006b.)

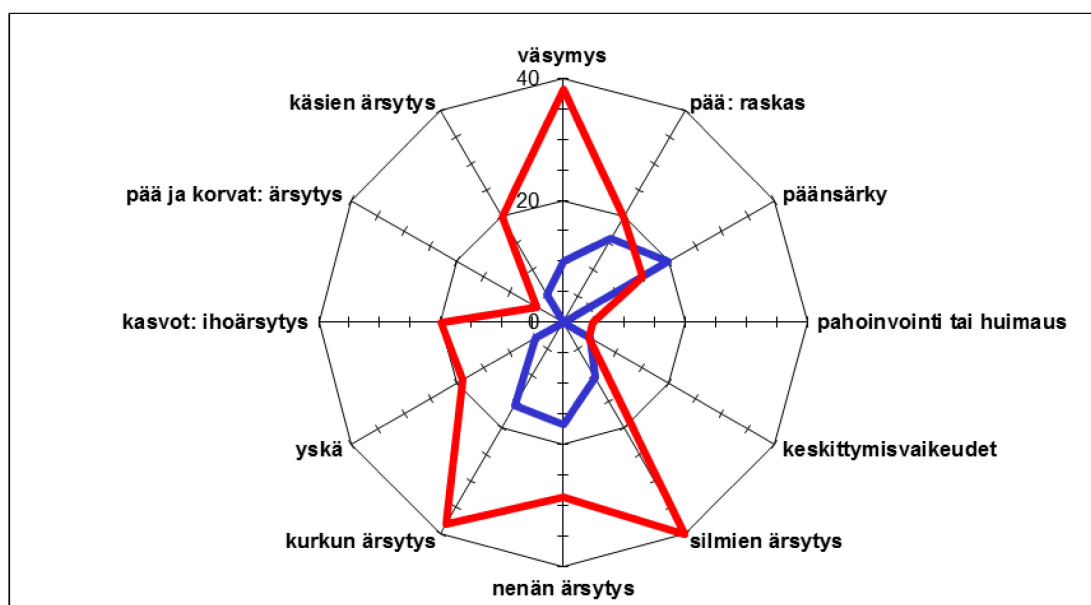
8.3.3 Seurantatutkimukset

Huoneiden ilmatiivistysmittaukset on toistettu jälkiseurantana vuonna 2007. Mittausten tarkoituksena oli selvittää, miten huoneiden ilmapuotoluvut olivat muuttuneet vuodessa. Huoneiden ilmapuotoluvut n50 olivat jopa aiemmin mitattua paremmat: 1,80 l/h ja 0,93 l/h. Tutkimuksen perusteella todettiin, että huoneiden tiiviys on säilynyt vähintään yhtä hyvänä. (Huttunen 2007.)

Peruskorjauksen jälkeen kohteessa on tehty seurantakysely sisäilman laadusta ja peruskorjauksen onnistuneisuudesta. Rakennuksen käyttäjistä kyselyyn vastanneita oli 41 henkilöä ja vastausprosentti 51 %. Peruskorjatun A-osan ja korjaamattoman B-osan tuloksia verrattiin. Tulokset on esitetty alla olevissa kuvissa 60 ja 61. Tuloksista voidaan havaita selvä parannus peruskorjattujen alueiden tilanteessa, verrattuna ei korjatun B-osan alueisiin. (Seurantakysely 2006.)



Kuva 60. Viikoittain koetut työympäristöhaitat. Sinisellä on kuvattu peruskorjatulta alueelta saadut vastaukset ja punaisella korjaamattomalta. (Seurantakysely 2006.)



Kuva 61. Viikoittain koetut työympäristöön liittyvät oireet. Sinisellä on kuvattu peruskorjatulta alueelta saadut vastaukset ja punaisella korjaamattomalta. (Seurantakysely 2006.)

Vuosi peruskorjauksen jälkeen rakennuksessa on tehty lisäksi sisäilman seurantamittauksia. Tutkimuksessa rakennuksesta kerättiin laskeutuneen pölyn pintanäytteitä, joiden mikrobipitoisuutta analysoitiin. Laskeutuneen pölyn pintanäyte kuvaa kahden viikon aikana pinnoille laskeutunutta mikrobikertymää. Kellarista kerätyssä näytteessä oli vähäistä mikrobikasvustoa, mutta lajisto ei ollut normaalia poikkeavaa. Muista tiloista kerätyissä näytteissä ei esiintynyt homesieni- eikä bakteerikasvustoa. (Seurantatutkimukset 2007.)

8.3.4 Vesivuodot

Peruskorjauksen aikana tehtyjen B-osan purkutöiden yhteydessä tapahtui vesivahinko. Rakennuksen 4. kerroksessa katkesi sprinklerputkisto, josta valui vettä kellarikerrokseen asti välipohjarakenteiden läpi sekä seinäliittymien kautta. Välittömästi vesivahingon tapahtumisen jälkeen välipohjien rakenteet ja materiaalit purettiin kastuneilta alueilta. Purkutöihin ryhdyttiin pikaisesti, jotta välipohjassa olleet puiset sekundäärirakenteet eivät vaurioituisi. Purettavaksi päätyi vanhoja lattialaudoituksia, välipohjatäytteitä, täytteitä kannattelevia laudoituksia sekä osassa tiloista myös kattopintana ollut ohut puurimoilla vahvistettu betonilaatta. Purkulaajuutta rajattiin purkutöiden aikana pintakosteusmittausten ja rakenteiden suhteellisen kosteuden mittausten avulla. Vanhat puretut välipohjatäytteet korvattiin kevytbetonimurskeella. Tämä massiivinen välipohjarakenteiden kastuminen lisäsi merkittävästi välipohjiin liittyviä riskejä. Ongelmia ei kuitenkaan aiheutunut, kun korjauksiin tartuttiin pikaisesti. Kuivattamisen ja korjausten jälkeen tehtiin jälkiseurantamittauksia, jotta varmistuttiin korjauslaajuuden riittävydestä. (Huttunen 2006a.)

8.4 Kohde 4: Korjaus toteutettu, koulurakennus

Kohde on Helsingissä sijaitseva toimistorakennus, joka on valmistunut vuonna 1932. Kohde on merkitty suojeltavaksi rakennukseksi asemakaavassa. Kiinteistö on seitsemän kerroksinen mukaan lukien ullakko ja kellarikerros. Rakennuksen kantava runko koostuu paikallavaletuista teräsbetonipilareista ja ulkoseinien tiilimuurauksesta. Väli- ja yläpohjarakenteet ovat lähes koko rakennuksen osalta paikallavalettuja kaksoislaattapalkistoja. (Yrjölä 2014.)

8.4.1 Kaksoislaattapalkiston tutkimukset

Kohteen peruskorjauksen hankeselvitysvaiheessa vuonna 2012 tutkittiin välipohjarakenteiden kuntoa rakenneavauksin. Rakenneavauksia välipohjiin tehtiin kuusi kappaletta, jotka tutkittiin aistinvaraisesti. Yhdestä avauksesta otettiin lisäksi materiaalinäyte. Tutkimuksissa havaittiin, että märkätilojen kohdilla rakennetta ei ollut vedeneristetty. Aistinvaraisen arvioinnin perusteella kotelotiloissa olevassa materiaalissa ei havaittu vaurioita, lukuun ottamatta märkätilojen kohdalla olevien muottilautojen värimuutoksia. Mikrobi-analyysin tulokset eivät myöskään viitanneet kosteusvaurioon. Hankeselvitysvaiheessa päätettiin, että materiaalit kaksoislaattapalkistojen kotelotiloista puretaan vanhojen ja uusien märkätilojen sekä yläpohjien alueilta. Pääosin muottilaudoitusten ja täytemateriaalin osalta korjausratkaisuksi suunniteltiin rakenteen kapselointia. Hankesuunnitteluvaiheessa määritettiin tehtäväksi laajempi kuntotutkimus välipohjarakenteiden osalta suunnittelu-vaiheessa. (Rakennusluvan muutoshakemus 2014)

Suunnitteluvaiheessa välipohjarakenteisiin tehtiin yhteensä 16 rakenneavausta, joista aistinvaraisen arvioinnin lisäksi otettiin materiaalinäytteet muottilautoista. Ainoastaan yhdessä näistä 16 näytteestä havaittiin Asumisterveysohjeessa (2003) määritettyjen kosteusvaurioon viittaavien raja-arvojen ylittäviä mikrobipitoisuuksia. Näyte oli otettu ulkoseinän vierestä, jossa tiedettiin olleen vesivuoto. Aistinvaraisen arvioinnin yhteydessä ei rakenneavauksissa havaittu viitteitä vaurioon. Korjausratkaisuna välipohjarakenteille suunniteltiin yhä kapselointia. Havaitusta vauriokohdasta muottilaudat päätettiin poistaa. (Rakennusluvan muutoshakemus 2014)

8.4.2 Kaksoislaattapalkiston purkutyöt

Kun peruskorjauksen purkutyöt alkoivat, havaittiin alakattorakenteiden purkutöiden yhteydessä välipohjien alalaatoissa oletettua runsaammin halkeilua, kiinnikkeitä, valuvirheitä ja muita reikiä. Lisäksi purkutöiden yhteydessä tehtiin välipohjarakenteisiin uusia rakenneavauksia, joiden kautta muottilautoissa havaittiin aistinvaraisen arvioinnin perusteella olevan home- ja lahovaurioita. Välipohjarakenteiden ilmatiiveyttä tutkittiin merkkiainekokein. Merkkiainekokeen perusteella havaittiin, että välipohjien kotelotiloista merkkikaasu kulkeutui kotelotiloista ulkoseinien kautta sisätiloihin. Tutkimusten perusteella todettiin välipohjien muottilautojen kunnon ja ilmatiiveyden olevan oletettua huonompi. Kapselointiratkaisua pidettiin toteutustavaltaan vaikeana ja riskialttiina ratkaisuna. Kaksoislaattapalkistojen alalaatta ja kotelotiloissa olevat muottilaudat päätettiin purkaa laajoilta alueilta. Rakennussuojelullisesti arvokkaimmissa tiloissa välipohjarakenne päätettiin korjata ilmatiivistyksin. (Rakennusluvan muutoshakemus 2014)



Kuva 62. Muottilautojen kunto oli aistinvaraisen arvioinnin perusteella hyvin vaihtelevaa eri kotelotilojen välillä. Kuvat on otettu kaksoislaattapalkiston alapuolelta, kun rakenteen alalaatta on purettu.



Kuva 63. Kaksoislaattapalkiston alalaatta, täyttömateriaalit ja muottilaudat on purettu.

Kaksoislaattapalkistojen kotelotiloissa olevia täyttömateriaaleja ja muottilautoja purettiin pääasiassa rakenteen alakautta, mutta joillain alueilla myös yläkautta. Alakautta purkutyö toteutettiin purkamalla alalaatta rakenteen palkkiväleiltä siten, että palkkiterästen suojaksi jätettiin vähintään 50 mm ulokkeet alalaatasta. Rakenteen kotelotiloista poistettiin täyttömateriaalit ja muottilaudat. Kaksoislaattapalkistorakenteiset yläpohjarakenteet ja joissain kohdissa myös välipohjarakenteet purettiin yläkautta. Näillä alueilla ylälaatta purettiin kokonaisuudessaan ja poistettiin tätä kautta kotelotiloissa olleet täyttömateriaalit ja muottilaudat. (Yrjölä 2014.)

8.4.3 Betonipintojen puhdistus

Kotelotiloissa olevien muottilautojen purkamisen jälkeen tehtiin koepuhdistus kotelotiloihin jääville betonipinnoille. Muottilautajäämät puhdistettiin hiomalla ja imuroimalla pinta huolellisesti. Puhdistetusta pinnasta otettiin pintasivelynäyte, jonka mikrobipitoisuutta arvioitiin laboratoriossa viljelymenetelmin. Näytteiden tulokset osoittivat, että näytteissä oli edelleen havaittavissa vähäistä tai runsasta aktinomykeettikasvustoa. Muuta mikrobivaurioon viittaavaa mikrobikasvustoa ei todettu. Tämän jälkeen kohteessa tehtiin mallialueiden puhdistuksia erilaisia mekaanisia puhdistustapoja käyttäen. Näiltä kohdin otettiin pintasivelynäytteet, joissa havaittiin kohtalaista ja runsasta mikrobikasvua. Näytteitä otettaessa betonipinnat todettiin pölyisimmiksi kuin koepuhdistuksena tehdyllä alueella johtuen siitä, että koepuhdistuksen alueella pinnat oli imuroitu juuri ennen näytteenottoa. Näytetulosten perusteella todettiin, että mekaaninen puhdistus ei ole riittävä tapa rakenteen puhdistamiseksi, jos rakennetta ei ummisteta täysin ilmatiiviiksi. (Palviainen 2014b.)

Kohteen kuudennessa kerroksessa yläpuolisen välipohjan ontelotilat puhdistettiin mikrohiekkapuhalluksella. Hiekkapuhalluksen jälkeen pinnat imuroitiin ja suljettiin ruiskutussuutuksella sekä pölynsidontamaalauksella. Välipohjarakenne ummistettiin palosuojalevytyksellä, mutta levyjen saumoja ei tiivistetty. Hiekkapuhalluksen jälkeen, ennen pinnan imurointia, pinnasta otettiin pintasivelynäyte, jossa havaittiin ainoastaan yksittäisiä aktinomykeettipesäkkeitä. Tulos todettiin hyväksi siihen nähden, että pinnan imurointia ei ollut vielä suoritettu. Yksittäisen näytteen tulosta ei kuitenkaan voida pitää täysin varmana. (Palviainen 2014b.)

Hiekkapuhallustyön aiheuttaman suuren pölyhaitan ja hiekkajätteen vuoksi hiekkapuhallusta tehtiin ainoastaan yksittäisille rajatuille alueille, joissa oli selviä merkkejä vaurioituneista muottilautoista. Muut välipohjarakenteiden kotelotilojen betonipinnat puhdistettiin desinfiointikäsittelyllä. Desinfiointi toteutettiin hapettamalla orgaanisella peroksidiliuksella märkäkäsittelynä. Desinfiointin jälkeen tiloja tuuletettiin tehokkaasti. (Palviainen 2014b.)

Desinfiointin jälkeen betonipinnoista otettiin pistokoeluentoisesti pintasivelynäytteitä. Desinfiointikäsittelyn jälkeen otetuissa pintanäytteissä havaittiin mikrobikasvua hyvin vähäisissä määrin. Tulos oli korjausten jatkamisen kannalta hyväksyttävä ja rakenteet ummistettiin. Yleisenä huomiona Palviainen (2014) toteaa, että pintojen hiekkapuhalluksen ja desinfiointin jälkeen pinnoilla yhä on elinkykyisiä mikrobi-itiöitä. Toisaalta elinkykyiset mikrobi-itiöt eivät kuitenkaan tarkoita, että pinnalla välttämättä olisi aktiivista mikrobikasvustoa. (Palviainen 2014b.)

8.5 Kohde 5: Korjaus toteutettu, päiväkotirakennus

Kohde on Helsingissä sijaitseva rakennus, joka on valmistunut vuonna 1930. Alun perin rakennus on rakennettu oppilaitokseksi, mutta toimii nykyisin päiväkotina. Rakennus on suojeltu asemakaavalla merkinnällä SR-1 eli suojeltava rakennus. Edellisin peruskorjaus valmistui alkuvuonna 2015, jolloin rakennuksen käyttötarkoituksin muutettiin. Sitä edeltävä peruskorjaus valmistui vuonna 1966, jolloin rakennukseen asennettiin koneellinen ilmanvaihto. Rakennuksessa on viisi kerrosta ullakko ja kellari mukaan lukien. Kantava runko koostuu massiivisista tiiliseinistä sekä teräsbetonipilareista. (Mantila 2014.)

Välipohjarakenteet ovat ala-, ylä- ja kaksoislaattapalkistoja, pääsääntöisesti laippapalkkilisia alalaattapalkistoja. Alalaattapalkistoissa on teräsbetoninen ylälaatta, joka on valettu PAH-yhdisteitä sisältävän tervapaperin päälle. Välipohjarakenteiden kotelotiloissa on vanhat muottilautoitukset ja osassa välipohjista on myös täyttömateriaalia. Täyttömateriaalina on turvetta, hiekkaa, koksikuonaa, tiiliä ja kutterinlastua. Yläpohjarakenteena on alalaattapalkisto betonisella ylälaatatalla. Yläpohjarakenteessa on vanhat muottilaudat, rakennusjätetäytettä sekä tervapaperi ylälaatan valualustana. (Mantila 2014.)

8.5.1 Tutkimukset ennen peruskorjausta

Ennen peruskorjausta kohde oli tyhjiillään. Vuonna 2013 kohteeseen tehtiin kattava kuntotutkimus. Rakennuksen yleiskunnon aistinvaraisessa arvioinnissa havaittiin useita vesivuotoihin viittaavia merkkejä ja joissain huonetiloissa mikrobiperäistä hajua. Väli- ja yläpohjarakenteita tutkittiin rakenneavauksin. Avauksia tehtiin yhteensä kahdeksan kappaletta välipohjarakenteisiin ja kolme yläpohjarakenteisiin. Lisäksi yläpohjarakenteissa oli kolme vanhaa rakenneavausta. Kuudesta avauksesta otettiin yhteensä 18 materiaalinäytettä rakenteiden kotelotiloissa olevista materiaaleista: muottilautoista, täytemateriaalista tai tervapaperista. Materiaalinäytteille tehtiin mikrobianalyysi suoraviljelymenetelmällä. Rakenneavaukset ja niistä otetut materiaalinäytteet on lueteltu taulukossa 3. (Miettunen ja Turunen 2013.)

Taulukkoon 3 on merkitty materiaalinäytteissä viljelymenetelmällä havaittujen mikrobikasvustojen määrä. Näytteitä, joissa havaittiin runsaasti tai erittäin runsaasti mikrobikasvustoa, oli kaikista 18 näytteestä yhteensä 13. Samasta rakenneavauksesta otettujen näytteiden analyysitulokset vaihtelevat hiukan riippuen, onko näyte otettu muottilaudasta, täytemateriaalista vai rakennuspaperista.

Taulukko 3. Ylä- ja välipohjarakenteiden rakenneavauksista otetut materiaalinäytteet. Merkintä VP tarkoittaa välipohjaa ja YP yläpohjaa. Suoraviljelyn tulos ”vähän” merkitsee näytteessä havaittua vähäistä mikrobikasvustoa, ”kohtalaisesti” merkitsee kohtalaista aktinomykeettikasvustoa ja vähäistä sienikasvusto, merkinnät ”runsaasti” ja ”erittäin runsaasti” viittaavat joko näytteessä havaittuun aktinomykeetti- tai bakteerikasvustoon.

| Rakenneavaus | Näytemateriaali | Suoraviljelyn tulos |
|-----------------|--------------------|---------------------|
| VP, kellarikrs. | täytemateriaali | runsaasti |
| | muottilauta | runsaasti |
| | tervapaperi + bet. | runsaasti |
| | täytemateriaali | runsaasti |
| VP, 1. krs. | muottilauta | vähän |
| VP, 1. krs. | tervapaperi | runsaasti |
| | muottilauta | kohtalaisesti |
| | tervapaperi | runsaasti |
| | tervapaperi + bet. | runsaasti |
| | täytemateriaali | runsaasti |
| VP, 2. krs. | tervapaperi | runsaasti |
| | muottilauta | erittäin runsaasti |
| | täytemateriaali | erittäin runsaasti |
| | täytemateriaali | erittäin runsaasti |
| YP, 3. krs. | tervapaperi | runsaasti |
| YP, 4. krs. | tojalevy (ylempi) | vähän |
| | tojalevy (alempi) | vähän |
| | muottilauta | kohtalaisesti |

Rakenteiden tutkimusten perusteella todettiin ylä- ja välipohjien muodostavan riskin sisäilman laadulle onteloiden sisältämien orgaanisten materiaalien ja betonirakenteiden epätiiviydestä johtuen. Riskialueiksi määriteltiin varsinkin ulkoseinälinjat sekä vanhojen, nykyisten ja tulevien märkätilojen alueet. Lisäksi todettiin, että kaikki välipohjissa olevat täyttömateriaalit voivat olla riski sisäilman laadulle pienhiukkasten ja pölyn kulkeutumisen vuoksi. (Miettunen ja Turunen 2013.)

Tutkimusten perusteella jatkotoimenpiteiksi suositeltiin yläpohjan osalta joko täytemateriaalin ja muottilautojen poistamista rakenteen kotelotiloista tai rakenteen ilmatiivistämistä, jos rakenne olisi rakennussuojelullisista syistä säästettävä. Välipohjien osalta korjaustoimenpiteeksi suositeltiin täyttömateriaalien ja muottilautojen poistamista rakenteen ylälaatan kautta. Vaihtoehtoisesti purku voitiin toteuttaa alalaatan kautta, jos purkaminen yläkautta ei rakennussuojelullisista syistä olisi mahdollista. (Miettunen 2014.)

8.5.2 Ylä- ja välipohjarakenteiden korjaustyöt

Lähes kaikkien välipohjarakenteiden täyttömateriaalit ja muottilautoitukset poistettiin. Materiaalit poistettiin suurtehoimurilla ja betonipinnat puhdistettiin mekaanisesti hioamalla. Puhdistuksen laatu varmistettiin aistinvaraisin keinoin. Täyttömateriaalin ja muottilautojen poistaminen tapahtui pääasiassa rakenteen yläkautta purkamalla ylälaatta ja sen alla oleva terापaperi. Joillain alueilla purku toteutettiin alalaatan kautta, jotta yläpuolella oleva mosaiikkibetoninen pintalaatta voitiin säilyttää. (Mantila, 2014)



Kuva 64. Välipohjarakenteen alalaatta, muottilaudat ja täyttömateriaalit on purettu.

Kohteen peruskorjauksen suunnitelmat tarkastettiin vuonna 2014 rakennusfysikaalisesta näkökulmasta Huttusen ja Palviaisen toimesta. Välipohjien kannalta kiinnitettiin huomiota välipohjarakenteiden tiivistykseen rakenteessa olevien täytemateriaalien ja muottilautojen poistamisen lisäksi. Huttunen ja Palviainen huomauttavat, että pelkkä täytteiden ja laudoituksen poistaminen ei ole riittävä toimenpide varmistamaan hyvää sisäilmaa. Vaikka materiaalit poistettaisiin rakenteiden kotelotiloista ja jäljelle jäävät betonipinnat puhdistettaisiin huolellisesti, ei pinnoista tulla saamaan täysin steriilejä. Lisäksi ontelotiloissa tulisi olemaan betonipölyä ja muuta pölyisyyttä aiheuttavaa materiaalia, mikä olisi myös jossain määrin riski sisäilman laadulle. Välipohjarakenteet tulisi joka tapauksessa tiivistää vähintään läpivientien, hormirakenteiden yksityiskohtien sekä muiden liittymäkohtien osalta, vaikka täyttömateriaalit ja muottilaudat kotelotiloista poistettaisiinkin. (Huttunen ja Palviainen 2014.)

Väli- ja yläpohjarakenteiden ja niiden rakenneliittymien, läpivientien ja muiden liittymäkohtien ilmatiiviys toteutettiin epoksilla ja vedeneristysmassalla myös alueilla, joissa välipohjista poistettiin täyttömateriaalit ja muottilaudat. Kuvassa 65 on erään välipohjarakenteen alapuolinen ilmatiivistys. (Huttunen 2015.)



Kuva 65. Tilan yläpuolisen välipohjarakenteen alalaatta on tiivistetty kauttaaltaan vedeneristysmassalla.

8.5.3 Laadunvarmistus

Välipohjarakenteiden tiivistyskorjausten onnistumista varmistettiin merkkiainekokein. Tutkimuksissa käytettiin merkkiaineakaasua, joka koostui timestä (95 %) ja vedystä (5 %). Merkkiaineakaasun syöttöä varten tehdyt reiät suljettiin tutkimusten ajaksi vesihöyryä läpäisemättömällä, elastisella kitillä. Tutkittaviin tiloihin muodostettiin alipaine ovipuhaltimella siten, että alipaine ulkoilmaan nähden oli 10–15 Pa. Kaikki merkkiainekokein havaitut vuotokohtat tiivistettiin merkkiainekokeen jälkeen. Uusien tiivistysten onnistumisen todettiin joissain tiloissa vielä uusien merkkiainekokein. (Miettunen ja Puranen 2014; Miettunen ja Koskela 2015.)

Miettusen ja Purasen tekemässä tutkimuksessa (2014) tutkittiin kahden huonetilan ylä- ja välipohjien sekä seinäliittymien ja läpivientien ilmatiivistyksiä tehtyjen tiivistyskorjausten onnistumisen varmistamiseksi. Välipohjan ylälaatan yläpinta oli tiivistetty epoksilla, yläpohjan alapinta siveltävällä vedeneristemassalla ja liittymät ja läpiviennit vedeneristemassalla vahvistusnauhaa käyttäen. Merkkiaineakaasua syötettiin huonetilojen alapuolisen välipohjan kotelotiloihin tutkittavista huonetiloista ja yläpohjan kotelotiloihin ullakolta käsin. Vuotokohtia havainnoitiin tutkittavista huonetiloista merkkiaineanalysaattorilla. Ilmavuotoja havaittiin vähäisesti lähinnä läpivientien kohdalla. Myös lattian epoksitiivistyksen reuna-alueella, patterisyvennysten seinäpinnoissa sekä ulkoseinällä olevassa rappauspinnan kopoalueella havaittiin vuotokohtia. Silmämääräisesti vedeneristystiivistyksessä havaittiin yksittäisiä pieniä reikiä kohdissa, joissa massa oli jäänyt ilmakupla tai jokin muu epätasaisuus.



Kuva 66. Merkkiainekokeella havaittiin läpivienneissä vuotokohtia. (Miettunen ja Puranen 2014)

Miettusen ja Koskelan tekemässä tutkimuksessa (2015a) tutkittiin kahden huonetilan yläpuolisen välipohjarakenteen ilmatiiveyttä. Merkkiaineakaasua syötettiin rakenteen alalaa-
tan läpi välipohjan kotelotilaan. Välipohjan alalaa-
tta oli tiivistetty kauttaaltaan siveltä-
vällä vedeneristemassalla. Merkkiaineakaasua havaittiin vuotavan alakaton ja ilmanvaihtokanavien kannakkeiden liittymistä usean kannakkeen kohdalta.

Miettusen ja Koskelan tekemässä tutkimuksessa (2015b) tutkittiin viiden huonetilan ylä- ja välipohjien ilmatiivistystä. Neljässä huonetilassa merkkiaineakaasua syötettiin yläpohjan alaslasketun kattolevyn yläpuolelle ja näistä neljästä tilasta kahdessa huoneessa merkkiainetta syötettiin lisäksi välipohjan ylälaatan läpi kotelotilaan. Vuotokohtia havaittiin välipohjan ylälaatan saumakohdassa ja yläpohjassa olevissa sähköjohtojen suojaputkien läpivienneissä.

8.6 Kohde 6: Ei laajoja korjauksia välipohjien osalta

Kohde on Helsingissä sijaitseva, kuusikerroksinen, opetus- ja tutkimuskäytössä oleva rakennus. Osittain rakennuksessa on lisäksi kellarikerros ja kylmä ullakko. Rakennus on valmistunut vuonna 1939 ja se on suojeltu asemakaavalla merkinnällä sr. Rakennuksen kantavana runkona on 1½-kiven sekä 2-kiven massiivitiiliseinät. Välipohjat ovat betonisista kaksoislaattapalkistoja, joiden kotelotiloissa on vanhat muottilaudat ja joillain alueilla täyttömateriaalina koksikuonaa.

Vuonna 2000 kohteeseen tehtiin rakennetutkimuksia ja välipohjarakenteita tutkittiin rakenneavauksin ja porareikien kautta endoskooppia apuna käyttäen varsinkin vanhojen vesi- tai viemäriveruotojen alueilla. Osassa kotelotiloista havaittiin tutkimusten yhteydessä mikrobiperäistä hajua. Kosteusteknisessä toimenpideohjelmassa mainitaan, että kotelotiloissa olevien mikrobien kulkeutuminen huonetiloihin on epätodennäköistä, mutta selvien ilmareittien tiivistäminen on suositeltavaa. Muottilaudoitusten laajamittaista purkamista ei pidetty tarpeellisena, eikä teknisesti tai taloudellisesti mahdollisena. Korjauksen yhteydessä välipohjien osalta tiivistettiin ainoastaan välipohjiin liittyvien kuiluaukkojen reunat. (Mikkola 2000; Huttunen ja Mikkola 2000.)

2000-luvun puolivälin jälkeen kohteessa tehtiin peruskorjaus. Peruskorjauksen aikana välipohjien kotelotiloista ei poistettu vanhoja muottilautoja, vaikka peruskorjauksen ensimmäisen vaiheen aikana muottilaudat todettiin aistinvaraisin havainnoin laho- ja homevaurioituneeksi lähes kaikkien rakenteeseen tehtyjen avausten kohdalla. Muottilaudoitus todettiin olleen vaurioituneen jo rakennusaikana eikä aktiivista mikrobikasvustoa tai kosteusvaurioita rakenteissa havaittu. Silloin todettiin, että kotelotiloissa olevilla kuivilla epäpuhtauksilla ei ole vaikutusta sisäilman laatuun tai käyttäjien terveyteen, jos epäpuhtaudet eivät pääse ilmaveruotojen yhteydessä kulkeutumaan huonetiloihin. Rakenteiden liittymät ja läpiviennit tiivistettiin, jotta rakenteen kotelotiloissa olevat mikrobiepäpuhtaudet ja pölyävä aines eivät päässeet huonetiloihin. Peruskorjauksen aikana kiinnitettiin lisäksi huomiota rakennustyön kosteudenhallintaan, jotta muottilaudat ja täyttömateriaalit eivät päässeet vaurioitumaan rakennustöistä johtuen. (Huttunen ja Hönö 2007.)

Suurimmaksi osaksi alkuperäiset kaksoislaattapalkistorakenteiset välipohjat muottilautoineen ovat kohteessa yhä paikoillaan. Pienellä alueella kahdessa eri kerroksessa välipohjarakenteita purettiin, sisäilmaan liittymättömistä syistä, rakennuksessa tehtävien muutostöiden vuoksi vuonna 2014. (Roine ja Tarkela 2014) Diplomityön yhteydessä ei tullut esille, että kohteessa nykyisinkään olisi välipohjiin liitettyjä sisäilmaongelmia.

9 Johtopäätökset

Osassa tapaustutkimuksiin kuuluneista kohteista oli kaksoislaattapalkistorakenteiden lisäksi teräsbetonisia ylä- ja alalaattapalkistoja sekä puurakenteisia välipohjia, joita työssä käsiteltiin myös jossain määrin. Työssä käsiteltyjä menetelmiä sekä saatuja tuloksia ja päätelmiä voidaan soveltaa myös muihin sisäilmariskejä omaaviin ala-, ylä- ja välipohjarakennetyyppeihin. Tässä kappaleessa käsitellään, arvioidaan ja vertaillaan tutkimuksessa olleita tapaustutkimuskohteita sekä korjaus- ja tutkimusmenetelmiä. Kappaleen lopussa arvioidaan diplomityön tavoitteiden muuttumista työn edetessä ja pohditaan jatkotutkimusten tarvetta.

9.1 Tapaustutkimuskohteet

Kohde 1 on esimerkki kohteesta, jossa on peruskorjaus alkamassa. Kohde on rakennushistoriallisista syistä merkittävä ja suojeltu rakennus. Kohteessa on sekä puurakenteisia että betonisia välipohjarakenteita täyttömateriaaleineen. Välipohjarakenteet pyrittiin rakennussuojelun nimissä säästämään ja Museovirasto oli antanut lausunnon, jossa sallittiin ainoastaan vaurioituneiden materiaalien poistaminen rakenteista. Välipohjarakenteiden kohtaloa pohdittiin pitkään ja tutkimuksia tehtiin laajastikin. Täytemateriaalin ja muottilautojen vaurioitumislaajuutta ei kuitenkaan ole pystytty määrittämään. Kaksoislaattapalkiston korjausmenetelmää ei ole vielä lopullisesti päätetty.

Kohde 2 on esimerkki kohteesta, jossa rakennus oli diplomityön tekemisen aikana peruskorjattavana. Peruskorjauksen ensimmäisen vaiheen aikana välipohjarakenteita tutkittiin kattavasti. Välipohjatäytteiden ja muottimateriaalien kunto havaittiin tutkimuksissa hyvin vaihtelevaksi. Rakenteiden korjausvaihtoehtoja pohdittiin pitkään ja lopulta kotelotiloissa olevat materiaalit purettiin kokonaisuudessaan lähes koko rakennuksen osalta. Purkutyöt toteutettiin osittain rakenteen yläkautta ja osittain alakautta.

Kohde 3 on esimerkki kohteesta, jossa peruskorjaus ja sen aikana tehdyt sisäilmakorjaukset on toteutettu onnistuneesti jo vuosia aiemmin. Ennen peruskorjausta kohteessa oli ollut sisäilmaongelmia osittain johtuen siitä, että välipohjarakenteiden kautta ohjattiin tarkoituksellisesti ilmaa huonetiloihin. Kohteessa oli pääasiassa puurakenteisia välipohjia, mutta myös betonisia kaksoislaattapalkistoja. Suurin osa välipohjarakenteista korjattiin ilmatiivistämällä lukuun ottamatta märkätilojen alueita, joissa rakenteen täyttömateriaalit purettiin. Kohteessa panostettiin korjauksen onnistumiseen laadunvarmistuksella, seurantamittauksilla ja parantamalla käyttäjien asenteita aiempaa homerakennusta kohtaan. Tiivistyskorjausten lisäksi kohteen sisäilman laatua parannettiin ilmanvaihtojärjestelmän uusimisella ja ilmanvaihdon ylivoimistamisella, mikä on todennäköisesti vaikuttanut suuresti korjauksen onnistumiseen.

Kohteessa 3 tapahtui peruskorjauksen aikana vesivuoto, joka kasteli välipohjarakenteita muutaman luokkatilan osalta useassa kerroksessa. Vaikka välipohjarakenteisiin oli jätetty helposti mikrobivaurioituvat täytemateriaalit, ei vesivuodon jälkeen ilmennyt sisäilmaongelmia. Korjaustoimenpiteisiin tartuttiin pikaisesti vesivuodon havaitsemisen jälkeen ja korjausten onnistumista varmistettiin ja seurattiin korjausten jälkeenkin.

Kohde 4 oli esimerkki kohteesta, jossa peruskorjaus on valmistunut. Alun perin kohteessa pyrittiin suojelusyistä säästämään vanhat välipohjarakenteet muottilautoineen ja täyttömateriaaleineen tiivistyskorjauksia käyttämällä. Laajojen tutkimusten perusteella tämä todettiin soveltuvaksi ratkaisuksi. Purkutöiden yhteydessä havaittiin vaurioituneita muottilautoja laajoilla alueilla ja kaksoislaattapalkistorakenteen alalaatta todettiin tiiviydeltään

luultua huonommaksi. Uudet tutkimustulokset viittasivat samaan: muottilautojen laajaan vaurioitumiseen ja rakenteessa oleviin useisiin ilmavuotoreitteihin. Lopulta täytemateriaalit ja muottilaudat purettiin lähes koko rakennuksen laajuudessa. Päätökseen vaikuttivat myös aiemmat käyttäjien huonot kokemukset toisen kohteen peruskorjauksen jälkeen ilmenneistä sisäilmaongelmista. Täytemateriaalin ja muottilautojen poistamisen jälkeen panostettiin rakenteeseen jäävien pintojen puhdistukseen ja puhtauden laadunvarmistukseen.

Kohde 5 on esimerkki kohteesta, jossa peruskorjaus on juuri valmistunut. Kohteessa oli välipohjarakenteina kaksois- ja ylälaattapalkistoja, mutta pääasiassa alalaattapalkistoja teräsbetonisella ylälaatatalla. Ylä- ja välipohjien korjaukset toteutettiin pääasiassa täyttömateriaalit ja muottilaudat poistaen ja rakenteet ilmatiivistäen. Yksittäisillä alueilla rakenteiden täyttö- ja muottilautamateriaalit jätettiin kotelotiloihin ja korjaukset toteutettiin rakenteet tiivistäen. Tiivistyskorjausten onnistumista valvottiin aistinvaraisten tarkastusten lisäksi useiden merkkiainekokeiden avulla.

Kohteessa 6 kaksoislaattapalkistojen osalta ei ole toteutettu laajoja tutkimuksia tai korjauksia. Rakenneavauksia ja mikrobinäytteenottoa oli kohdistettu vuotohistorian perusteella. Aiemmin tehtyjen peruskorjausten aikana kiinnitettiin huomiota työmaa-ajaiseen kosteudenhallintaa ja välipohjarakenteiden liittymä- ja läpivientikohtien ilmatiivistys varmistettiin. Kohteessa ei ole tiedossa olevia sisäilmaongelmia.

9.2 Kaksoislaattapalkiston korjausmenetelmät

Tapaustutkimuskohteissa korjausmenetelminä käytettiin sekä rakenteiden kotelotiloissa olevien luonnonmateriaalien purkamista että tiivistämällä tehtyjä korjauksia. Tapaustutkimuksissa havaittiin, että korjaus- tai purkupäätöksentekoon vaikuttivat suuresti korjaukseen liittyvien henkilöiden aiemmat huonot kokemukset, vastuun jakautuminen, rakennuslalla ja julkisuudessa hallitseva yleinen mielipide sisäilmakorjausten epäonnistumisesta, pelko tulevaisuuden tapahtumista, sisäilma-asioiden huomioon ottamatta jättäminen korjausta suunniteltaessa ja hyvin vähän itse korjauksen tekninen toteutus. Tapaustutkimusten perusteella voidaan todeta, että on olemassa kohteita, joissa välipohjakorjauksia on toteutettu onnistuneesti rakenteita tai niiden kotelotiloissa olevia materiaaleja purkamatta. Onnistumisen edellytyksenä on korjausten laadukas suunnittelu ja toteutus laadunvarmistuksineen.

Korjausten määrittämisen kannalta ongelmallisena voidaan pitää kaksoislaattapalkistorakenteiden tutkimusten kohdistamista ja niistä saatujen tulosten tulkintaa. Mitä enemmän tutkimuksia suoritetaan ja korjausvaihtoehtoja pohditaan, sitä varmemmin päädytään lopulta purkamaan rakenteiden täyttömateriaalit, jos viite mahdolliseen mikrobivaurioon havaitaan. Aina ei välttämättä huomioida sitä, että välipohjarakenteet ja niissä olevat mikrobiepäpuhtaudet ovat vain yksi sisäilmatekninen riski koko rakennushankkeen onnistumisen kannalta. Hyväksyttävänä pidetään samankaltaisia ja jopa suurempia mikrobiologisia riskejä, jotka liittyvät kaikkien rakennusten alapohjiin, ulkoseiniin ja muihin ulkovaipparakenteisiin, joissa esiintyy jo luonnostaan jatkuvaa mikrobikasvua maaperän ja ulkoilman olosuhteiden vuoksi. Välipohjarakenteiden kohdalla suojeluarvot kuitenkin herkästi unohtuvat ja suojeltaviakin rakenteita hävitetään ilman tilojen käytön turvallisuuden ja terveellisuuden liittyvää todellista syytä.

9.3 Kaksoislaattapalkiston tutkimusmenetelmät

Kaikissa tapaustutkimuskohteissa pääasialliset tutkimusmenetelmät ennen korjausta olivat rakenneavauksen kautta tehty aistinvarainen arviointi sekä rakenteen kotelotilojen materiaaleista otettujen näytteiden mikrobiologinen analysointi. Lisäksi joissain tapaus-tutkimuskohteissa käytettiin homekoira-arviointia, sisäilmanäytteitä, porareikien kautta tehtyä endoskooppikuvausta ja merkkiainekokeita korjauslaajuuden määrittämisen apukeinoina. Kosteusmittauksia tehtiin ainoastaan vesivuotojen yhteydessä. Taulukkoon 4 on listattu ennen korjausta käytettävien tutkimusmenetelmien hyviä ja huonoja puolia.

Taulukko 4. Kaksoislaattapalkiston vaurio- ja korjauslaajuuden määrittämiseen käytettyjen tutkimusmenetelmien hyvät (+) ja huonot (-) puolet.

| | |
|------------------------------|---|
| Aistinvarainen arviointi | <ul style="list-style-type: none"> + saadaan selkeä yleiskuva rakenteen vaurioista + havaitaan selkeät vauriot ja kosteusongelmat + helppo, nopea ja halpa toteuttaa - ei voida todeta materiaalia tai rakennetta mikrobivauriottomaksi - täytyy tehdä rakenteita rikkovin keinoin |
| Rakenneavaus | <ul style="list-style-type: none"> + varmistutaan rakennetyypistä + saadaan varmuus kotelotiloissa olevista materiaaleista + helppo toteuttaa aistinvarainen arviointi + voidaan ottaa materiaalinäyte muottilaudoista ja täytteistä - pölynhallinta ja mikrobien leviämisen estäminen - häiriöt käytössä olevissa tiloissa - ei voida tehdä suojeltuihin katto- tai lattiapintoihin |
| Tutkimukset porareian kautta | <ul style="list-style-type: none"> + saadaan varmuus kotelotiloissa olevista materiaaleista + ei riko rakennetta yhtä paljon kuin rakenneavaus + ei suurta pölyhaittaa + helppo ja nopea ummistaa + aistinvarainen arviointi (haju ja ulkonäkö) voidaan toteuttaa jossain määrin - aistinvarainen arviointi hankala toteuttaa luotettavasti - ei saada kattavaa materiaalinäytettä |
| Ilmanäyte huonetilasta | <ul style="list-style-type: none"> + voidaan todeta tila normaalista poikkeavaksi + nähdään, mitä mikrobeja hengitysilmassa on - eri menetelmin saadaan poikkeavia tuloksia - tuloksista ei voida päätellä, mikä on mikrobilähteenä - laajat otokset kalliita - tilaa ei voida todeta vauriottomaksi tulosten perusteella |

| | |
|--|--|
| Ilmanäyte kotelotilasta | <ul style="list-style-type: none"> + saadaan käsitys kotelotiloissa olevista mikrobeista + voidaan todeta huoneilmassa olevien mikrobien lähteeksi - ei voida todeta vauriottomaksi - laajat otokset kalliita - tulosten tulkinta hankalaa |
| Materiaalinäyte muottilaudoista tai täytteistä | <ul style="list-style-type: none"> + saadaan käsitys kotelotiloissa olevista mikrobeista + voidaan paikantaa mikrobivaurioita laajalla otoksella - ei ole olemassa raja-arvoja - laajat otokset kalliita - näytteen satunnaisuus - eri menetelmin poikkeavat tulokset |
| Merkkiaine- kokeet | <ul style="list-style-type: none"> + voidaan arvioida rakenteessa olevien ilmavuotoreittien laajuutta + saadaan käsitys tiivistyskorjauksen soveltuvuudesta kohteeseen + on mahdollista havaita pienetkin ilmavuotoreitit - kallis toteuttaa - luotettava arviointi vaatii paine-eron tilojen välille |
| Homekoira- arviointi | <ul style="list-style-type: none"> + suhteellisen halpa ja nopea keino + voidaan käyttää hyödyksi ilmavuotojen paikantamiseen + voidaan käyttää apuna rakenneavausten määrittämiseen - ei auta vaurio- tai korjauslaajuuden määrittämiseen - eri homekoiraporukoiden arviot poikkeavat toisistaan |
| Savukokeet | <ul style="list-style-type: none"> + edullinen ja nopea toteuttaa + havainnollistaa ilmavuotokohdat + ei vaadi välttämättä erikoiskalustoa - pienimmät vuodot jäävät havaitsematta - vaatii paine-eron tilojen välille - ei voida toteuttaa tilojen ollessa käytössä |

Tapaustutkimuskohteissa myös purku- ja korjaustöiden aikana oli arvioitu materiaalien vaurioitumista, korjausmenetelmiä ja -laajuutta sekä tehty uusia rakenneavauksia tutkimuksia varten. Uusia tutkimuksia oli tehty sekä aistinvaraisesti että materiaalinäytteiden mikrobiologisin analyysin.

Lähtökohtaisesti korjausmenetelmät ja -laajuudet tulisi määrittää jo ennen purku- ja korjaustöiden alkua, jotta osataan varautua kustannuksiin ja aikatauluihin oikein. Tutkimusten suorittamisen lisäksi saatujen tulosten perusteella muuttuvien korjaussuunnitelmien toteuttaminen työmaavaiheessa vie aikaa ja rahaa. Vaikutus koko hankkeen kustannuksiin on suuri. Rakenteiden sisällä olevien materiaalien kunto ja vaurioiden laajuus voivat

kuitenkin tulla selkeämmin esille vasta purku- ja korjaustöiden aikana, vaikka tutkimuksia olisi suoritettu laajastikin ennen korjaustöiden alkamista. Rakenneavausten kautta tehtyjä tutkimuksia on lisäksi helppo suorittaa korjaustöiden aikana, kun tutkittavat tilat eivät ole käytössä ja pölynhallinta on otettu huomioon jo muiden purkutöiden vuoksi.

Rakenteiden sisällä olevien luonnonmateriaalien kunnon tutkimiseen sekä vauriolaajuuden ja korjaussuunnitelmien tarkentamiseen olisi siis hyvä varata aikaa ja rahaa myös korjaustöiden aikana suoritettaviksi. Varsinkin ennen varsinaisia purkutöitä olisi usein aikaa suorittaa rakenneavauksia, mikäli rakenteiden vauriolaajuus ja korjaussuunnitelmat ovat vielä epäselvät. Tällä tavoin voitaisiin välttyä siltä, että rakenteet määritetään laajoilta alueilta purettavaksi varmuuden vuoksi ainoastaan sen takia, että saadaan korjausmenetelmä ja -laajuus yksiselitteisesti määritettyä ennen purku- ja korjaustöiden aloittamista.

Korjausten laadunvarmistukseen panostettiin varsinkin kohteissa, joissa korjaukset toteutettiin tiivistämällä. Tapaustutkimuskohteissa laadunvarmistukseen käytettiin tiivistyskorjausten yhteydessä aistinvaraisten keinojen lisäksi pääasiassa merkkiainekokeita. Merkkiainekokeiden aikana tutkittavat tilat alipaineistettiin. Kohteissa, joissa korjaukset toteutettiin rakenteen täyttömateriaalit ja muottilaudat poistamalla, jäljelle jäävien betonipintojen riittävästä puhdistuksesta varmistuttiin pääasiassa aistinvaraisin menetelmin. Betonipintojen puhdistuksen riittävyyttä varmennettiin lisäksi yhdessä kohteessa pintanäyttein. Lisäksi uv-valoa voidaan käyttää aistinvaraisen arvioinnin apuna.

9.4 Tavoitteiden arviointi

Diplomityön aiheeseen liittyen käytiin jatkuvasti keskustelua eri alan asiantuntijoiden kanssa työn tekemisen aikana. Mielenkiintoisia mielipiteitä ja näkemyksiä tuli esille paljon, mikä on pyritty esittämään työssä mahdollisimman hyvin. Työn edetessä tuli selvästi ilmi, että diplomityön aihe on hyvin ajankohtainen ja mielipiteitä herättävä. Diplomityön päätavoite työn edetessä pysyi koko työn ajan lähestulkoon samana. Keinot ja tutkimusmenetelmät, joiden avulla tavoitteeseen päästiin, kuitenkin muuttuivat hiukan työn edetessä.

Heti tutkimuksen alkaessa ulkomailta pyrittiin saamaan aineistoa ottamalla yhteyttä laajastikin yliopistojen, suunnittelu- ja konsulttitoimistojen sekä museovirastoa vastaaviin tahoihin ja niissä toimiviin yhteyshenkilöihin. Muutamat vastaukset, joita saatiin, antoivat ymmärtää, että aiheesta tai kyseessä olevasta rakenteesta ei ole käsitystä. Välipohjiin liitetyt sisäilmaongelmat liittyivät erityyppisiin rakenteisiin ja erilaisiin haitta-aineisiin esimerkiksi muovimattojen aiheuttamiin ongelmiin. Kaksoislaattapalkistorakennetta ja siihen liittyviä ongelmia ei tunnistettu ollenkaan. Ulkomailta saadut tapaustutkimuskohteet oli siis jätettävä tutkimuksen ulkopuolelle, mikä työn kannalta on erittäin harmillista. Juuri ulkomailta saatua aineistoa ja sen mukanaan tuomaa aiheen laajempaa katselukantaa pidettiin alun perin tärkeänä näkökulmana koko diplomityölle.

Suomesta tutkimukseen sopivia kohteita löytyi kymmenittäin. Korjausten kannalta eri vaiheessa olevia kohteita löytyi useita ja alkuperäinen kohteiden jaottelu onnistuttiin työhön saamaan. Työssä käytettävät kohteet valittiin siten, että saatiin kattava kokoelma kuvaamaan nykyisin käytettyjä tutkimus- ja korjausmenettelytapoja välipohjarakenteisiin liittyen. Saatu aineisto tapaustutkimuskohteista oli kattavampaa kuin tutkimussuunnitelmaa tehdessä osattiin kuvitella. Tutkimus-, korjaus- ja laadunvarmistus- ja seurantaraportteja saatiin kohteista diplomityön käyttöön hyvin.

Yhden tapaustutkimuskohteen peruskorjauksen purku- ja korjaustyöt viivästyivät sen verran, että korjauksen aikaisia tutkimuksia ei tätä työtä varten päästy suorittamaan. Tarkoituksena olisi ollut määrittää aistinvaraisesti kotelotiloissa olevan luonnonmateriaalin vaurioitumislaajuus laajojen purkutöiden yhteydessä. Tämä jäi valitettavasti työstä kokonaan puuttumaan. Kohteessa suoritettiin kuitenkin tutkimuksia välipohjiin liittyen ennen korjausta.

9.5 Jatkotutkimukset

Jatkotutkimuksena tutkimusmenetelmiä, niiden analysointia ja tulkintaa tulisi kehittää, jotta saataisiin nopeaan tutkimus- ja korjaustarpeeseen reagoivat menetelmät. Kaksoislaattapalkiston ja muiden vanhojen välipohjarakenteiden kotelotilojen olosuhteita tulisi seurata vuoden ympäri, jotta tunnettaisiin paremmin rakenteen rakennusfysikaalinen toiminta eri vuodenaikoina. Olosuhteita tulisi seurata myös jonkin ilmatiivistämällä korjatun välipohjan kotelotiloissa. Tällä hetkellä säilyttävän korjaustavan osalta kysymyksenä ovat korjausten pitkäaikaiskestävyys ja ilmatiivistämisen vaikutus rakenteen sisäiseen toimintaan. Lisäksi jatkotutkimuksena aiheeseen liittyen tulisi tehdä teknis-taloudellinen vertailu purkamalla ja tiivistämällä toteutettujen korjausten välillä.

10 Yhteenveto

Tässä diplomityössä tutkittiin kaksoislaattapalkistorakenteen tutkimusmenetelmiä, joiden perusteella voidaan määritellä rakenteelle riittävät korjausmenetelmät ja varmistaa korjausten onnistuminen. Tavoitteena oli tuoda esille rakenteiden laajojen purkutöiden tilalle muita korjausmenetelmiä rakennusten suojelun ja terveellisyyden näkökulmasta. Työssä käsiteltiin aihetta kuuden tapaustutkimuskohteen kautta.

Kaksoislaattapalkistoa käytettiin Suomessa vuosien 1900–1960 aikana pääasiassa välipohjarakenteena, mutta myös ylä- ja alapohjarakenteena. Rakenne muodostuu kantavasta ylälaatasta, palkistosta ja ohuemmasta alalaatasta. Palkkien ja laattojen väliin jää kotelotilat, joihin on rakennusaikana jätetty vanhat muottilaudat ja täyttömateriaalit. Täyttömateriaalina on käytetty lämmön- ja ääneneristysyistä luonnonmateriaaleja esimerkiksi hiekkaa, koksikuonaa, turvetta, sammalta, rakennusjätettä. Kaksoislaattapalkiston kotelotiloissa olevat materiaalit ovat herkkiä mikrobivaurioitumaan ja ovat usein vaurioituneet jo rakennusaikana, mutta aktiivista mikrobikasvustoa ei rakenteessa ole ilman kosteutta. Kotelotiloissa on kuitenkin mikrobiepäpuhtauksien lisäksi muuta pölyävää materiaalia, joka huonontaa sisäilman laatua päästessään rakenteen kotelotiloista ilmapuote- reittien kautta huoneilmaan.

Nykyisin purkutöihin ryhdytään usein, jos rakenteessa havaitaan viite mikrobivaurioon vedoten siihen, että rakennuksiin ei voida jättää minkäänlaisia riskejä sisäilmaongelmille. Täysin kliiniseen tulokseen ei vanhojen rakenteiden kanssa kuitenkaan koskaan päästä. Edes uusi rakennus tai sen yksittäinen rakenneosa ei ole käytön jälkeen täysin kliininen. Korjausrakentamisen tavoitteena ei myöskään tulisi olla uudisrakentaminen, vaan vanhaa rakennusperintöä arvostaen korjattu rakennus.

Välipohjarakenteita tutkiessa täysin kliinisiä tuloksia ei rakenteen luonnonmateriaaleista ole tarpeen saada, jotta ne voidaan rakenteeseen jättää. Vaurioituneelle materiaalinäytteelle asetettuja raja-arvoja ei voida suoraan käyttää, kun tutkitaan rakenteen sisällä olevia epäpuhtauksia. Toisaalta ”puhdaskaan” mikrobiologisen analyysin tulos ei tarkoita, että minkäänlaisia korjauksia ei olisi tarpeen tehdä. Yleiskuva rakenteen muottilautojen ja täyttömateriaalin kunnosta saadaan porareikien tai rakenneavausten kautta tehtyjen aistinvaraisten arvioiden avulla. Aistinvaraisen arvion lisäksi materiaalien mikrobilajiston ja -pitoisuuksien analysointi on perusteltua, kun halutaan tietää, onko rakenteessa tällä hetkellä aktiivinen ja mahdollisesti etenevä mikrobivaurio.

Rakenteeseen tehtäviä purku- tai korjaustöitä ei tule perustella pelkästään mikrobiologisen analyysin tuloksiin. Orgaanisen pölyn, hienojakoisen kiviaineksen, kuolleiden mikrobi-itiöiden ja muiden epäpuhtauksien pääsy huonetilan sisäilmaan täytyy estää huolimatta siitä, onko materiaalissa tällä hetkellä aktiivista mikrobikasvustoa. Myös silloin, kun rakenteen kotelotilojen materiaalit poistetaan, rakenteessa olevat ilmapuotokohdat täytyy tiivistää. Varsinkin rakenteen läpivientien, liittymäkohtien, halkeamien, rakojen ja muiden epäjatkavuuskohtien ilmatiivieydestä täytyy huolehtia aina.

Kun välipohjakorjaukset suunnitellaan toteutettavan ilmatiivistyksen, tulee huomioida rakenteen kuivumiskyky myös korjausten jälkeen. Jos rakenne kapseloidaan kokonaisuudessaan kuivumisen estävillä tuotteilla, voi yksittäisellä vesivauriolla olla vakavat seuraukset varsinkin tapauksessa, jossa rakenteen sisällä on sekä muottilaudat että täyttömateriaali. Kaksoislaattapalkistorakenteeseen voi tiivistysten jälkeenkin kulkeutua kosteutta esimerkiksi ulkoseinämuurausten kautta. Rakenteen kuivumiskyvyn säilyminen on erityisen tärkeää tapauksissa, joissa välipohjien kantavat palkit ovat puiset.

Kaksoislaattapalkiston korjausmenetelmiä ja -laajuuksia suunniteltaessa vauriolaajuuden lisäksi tai sen sijasta tulisi tutkia rakenteen kotelotilojen ilmayhteyttä ja paine-eroa verrattuna huonetilaan. Jos korjaukset toteutetaan ilmatiivistyksin, täytyy tutkimuksia suorittaa merkkiainekokein varsinkin laadunvarmistuksena korjauksen aikana ja tarvittaessa jälkiseurantana korjausten jälkeen. Ilmatiivistyskorjauksen onnistumista voidaan varmistaa alipaineistamalla rakenteen kotelotilat huonetiloihin nähden.

Selvät kosteuden aiheuttamat riskit on otettava huomioon mikrobikasvuston laajenevan luonteen vuoksi. Mikrobi-itiöt kulkeutuvat helposti ilmavirtojen mukana laajoillekin alueille rakenteen ilmatiloissa, jolloin syntynyt aktiivinen mikrobikasvusto voi levitä rakenteessa. Lisäksi lepotilassa oleva mikrobikasvusto muuttuu herkästi aktiiviseksi kasvustoksi, jos rakenteeseen pääsee kosteutta. Tämän vuoksi suuren kosteusrasituksen tai -riskin omaavilta alueilta voi olla perusteltua purkaa rakenteen sisältä helposti mikrobivaurioituvat materiaalit.

Tutkimuksia ei tule tehdä sillä periaatteella, että löydetään rakenteelle yhtenäinen korjausmenetelmä koko rakennuksen kattavalle laajuudelle, koska silloin menetelmäksi on turvallisinta valita muottilautojen ja täytemateriaalien purkaminen. Rakenteiden tutkimukset tulisi suorittaa siten, että niiden perusteella voidaan määritellä korjauslaajuudet seuraavasti:

- purettaviin alueisiin
- ilmatiivistyksin korjattaviin alueisiin
- täysin ennalleen jätettäviin alueisiin.

Tutkimusaskeleiden hyvät lähtökohdat olisivat silloin seuraavat:

1. Erityisen riskin omaavat rakenteet
 - a. Riskialueiden kartoitus
 - b. Homekoira-arviointi
2. Rakenteen vaikutus sisäilman laatuun
 - a. Savu- tai merkkiainekokeet
 - b. Painesuhteiden mittaukset
3. Vaurioriskien selvitys
 - a. Porareikäavaukset
 - b. Rakenneavaukset
 - c. Mikrobinäytteet rakenteesta

Riskialueiden kartoitus tulisi suorittaa perehtyen rakennuksen tilojen vanhoihin, nykyisiin ja tuleviin käyttötarkoituksiin, vesivaurio- ja vuotohistoriaan, suoritettuihin korjaus- ja muutostöihin sekä tarkastaen ylä- ja alapohjat sekä välipohjien ulkoseinien läheisyydessä olevat alueet. Homekoira-arvioinnin perusteella voidaan arvioida rakennuksen ilmavuotokohtia ja niiden laajuutta sekä määritellä suoritettavia porareikä- ja rakenneavauskohtia. Porareikäavauksia voidaan käyttää rakenneavauskohtien määrittämiseen tai rakenneavausten sijasta tiloissa, joissa suurempia avauksia ei voida suorittaa. Rakenneavauksia tulisi tehdä sekä ulkoseinälinjoille että rakennusrungon keskellä oleviin kotelotiloihin rakennuksen jokaisessa kerroksessa. Lisäksi kohtiin, joissa rakenteen pinnassa on havaittavissa kosteusvauriomerkkejä, tulee tehdä rakenneavaukset. Rakenneavausten kautta materiaalien kuntoa arvioidaan aistinvaraisesti ja materiaalinäytteitä otetaan avauksista, joissa aistinvarainen arviointi ei ole riittävä. Jos kotelotilojen materiaali on aistinvaraisin keinoin todettu mikrobivaurioituneeksi, ei siitä ole tarvetta enää ottaa materiaalinäytettä. Kun harkitaan täytemateriaalien ja muottilautojen jättämistä rakenteen

kotelotiloihin ja korjausten toteuttamista tiivistyksen, voidaan rakenteen ilmapuotokohtia ja niiden laajuutta määritellä savu- ja merkkiainekokein.

Tutkimuksia kaksoislaattapalkistoon ei ole tarpeen tehdä rakennuksissa, joissa ei ole ilmennyt ongelmia ja joissa ei ole suunnitteilla peruskorjausta tai muita korjauksia, joilla voi olla vaikutusta rakenteeseen tai sen rakennusfysikaaliseen toimintaan. Lisäksi tutkimuksia tehdessä ja saatuja tuloksia tulkittaessa on tärkeää muistaa, että laajoihin purkutöihin ei ole syytä ryhtyä pelkästään varmuuden vuoksi, jos ongelmia sisäilmassa ei ole ilmennyt. Mahdollinen riski ei pitäisi olla tarpeeksi painava syy tuhota korvaamatonta rakennusperintöä. Mitä enemmän rakenteen vauriolaajuutta tutkitaan ja korjausmenetelmiä pohditaan, sitä varmemmin rakenteet tai niiden sisällä olevat luonnonmateriaalit päädytään nykyisin purkamaan vielä selvästikin puutteellisen tiedon valossa. Kun mietitään sisäilmariskien korjausratkaisuja, täytyy rakennus huomioida kokonaisuutena. Harvoin yhden rakenteen tai riskin aiheuttajan poistaminen on riittävä keino takaamaan hyvää sisäilman laatua. Kokonaiskuva sisäilman laatuun vaikuttavista asioista on nykyisin yhä hataraa eikä esimerkiksi ilmanvaihdon merkitystä mikrobien tai muiden epäpuhtauksien pitoisuuteen ymmärretä täysin.

Huolimatta siitä, onko rakennus virallisesti määritelty suojeltavaksi, tulisi rakennusperintöä arvostaa ja pyrkiä siihen, että ei tuhota vanhoja rakenteita turhan takia. Tutkimustiedon ja korjaustaidon koko ajan kehittyessä, voi olla, että nykyisin ongelmana pidettyyn asiaan ei enää tulevaisuudessa kiinnitetä huomiota tai tulevaisuudessa mahdolliset riskit ja vauriot osataan ennakoita, arvioida ja korjata paremmin. Nykykäytäntöjen perusteella varmuuden vuoksi purettua ei kuitenkaan koskaan saada takaisin.

Lähdeluettelo

Aalto, Juho, Oksanen, Mooses, Harno, S., Puomi, William, Homi, Ilmari, Pääkkönen, Väinö, Karaja, Väinö, Rantanen, Antti, Jernvall, Niilo, Salonen, J., Leivo, Väinö, Sorvari, Martti, Linnamaa, Armas, Syvähuoko, Jalo, Mäkiö, J., Vesterinen, Jarkko & Vuorinen, Yrjö. 1947. Rakennustyönjohto. Helsinki: Rakentajain kustannus-Oy.

Aatola, Laura. 2007. Viemärihajujen synty ja hallintamenetelmät. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. 124 s.

Andersson, Maria, Laukkanen, Mirja & Nurmiaho-Lassila, Eeva-Liisa. 2002. Ilmamikrobien tutkiminen kalvosuodatinkeräintä käyttäen. Teoksessa Salkinoja-Salonen, Mirja (toim.) Mikrobiologian perusteita, 703–711. Helsinki: Helsingin yliopisto. ISBN 951-45-9502-5.

Asumisterveysohje. ks. STM 2003.

Asumisterveysopas. ks. STM 2008

Bonsdorff, Mikko & Winterhalter, Kati. 2010. *Kohde 1* Rakennushistoriaselvitys. Helsinki: Arkkitehtitoimisto Okulus. 349 s.

Castrén, Jalmar. 1908. Patenttivaatimus: Laatikkokatto-järjestelmä. 3 s.

Fischer, Michael. 2008. Steineisendecken im Deutschen Reich 1892-1925. Väitöskirja. Liechtenstein: Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Stadtplanung.

Gold, C. & Martin A. 1999. Refurbishment of concrete structures: Structural & services options. Berkshire: BSRIA. ISBN 0 86022 526 7

Kivilaakso, Aura. 2010. Rakennusperintö suojelun kohteena. Kulttuuriympäristökampanja 2010: Jokaisen oma ympäristö. 12 s.

Hankesuunnitelma, *Kohde 1* 2013. Helsinki: ISS Proko Oy. 120 s.

Harjuvaara, Jaakko. 2013. Historiakuvia Järvenpäästä. Saatavilla: http://www.kolumbus.fi/jaakko.harjuvaara/historia_jarvenpaa.shtml[viitattu 14.10.2015]

Hartikainen, Petri. 2013. Kosteus- ja homealkoot: Homevaurioituneen rakennusmateriaalin puhdistusohje rakenneosille, joita ei voi poistaa. 15 s.

Hedenstam, Paulus & Sippola, Petri. 2013. *Kohde 1*, Rakenteiden kuntotutkimus, REV C 27.3.2013. Kuntotutkimusraportti 21.9.2012. Helsinki: WSP. 48 s.

Heino, Arto. 2015. *Kohde 1*, Lausunto välipohjarakenteista 2.6.2015, liitteinen. Helsinki, Delete Finland Oy. 60 s.

Helin, H. 1915. Huonerakenteiden oppikirja. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava. 186 s.

Helsingin kaupungin asemakaava 8980. 1986. Helsinki: Helsingin kaupungin kaupunkisuunnitteluvirasto, asemakaavaosasto.

Helsingin sotilassairaala. 1936. Arkkitehtilehti 10/1936. Teoksessa: Tilkka 1936-2006 Rakennushistoriaselvitys. 2006. Helsinki: Arkkitehtitoimisto Schulman Oy.

Huttunen, Jukka & Aho, Pentti. 2003. *Kohde 3*, Tarvittavat lähtötiedot ja rakennetutkimukset 6.11.2003. Helsinki, Insinööritoimisto Mikko Vahanen Oy. 3 s.

Huttunen, Jukka. 2004. *Kohde 3*, Vanhojen puuvälipohjien täytemateriaalin mikrobinäytteet. Helsinki: Insinööritoimisto Mikko Vahanen Oy.

Huttunen, Jukka. 2005a. *Kohde 3*, Rakennustekniset toimenpiteet kosteus- ja sisäilmatekniseltä kannalta. Helsinki: Insinööritoimisto Mikko Vahanen Oy.

Huttunen, Jukka. 2005b. *Kohde 3*, Mallihuoneen 211 välipohjarakenteiden ilmatiiviiden testaus merkkiainekokeella. Muistio 22.12.2014. Helsinki: Insinööritoimisto Mikko Vahanen Oy. 2 s.

Huttunen, Jukka. 2006. *Kohde 3*, Yhteenveto sprinklervuodon edellyttämistä rakennusteknisistä toimenpiteistä. Muistio 24.9.2006. Helsinki: Insinööritoimisto Mikko Vahanen Oy. 9 s.

Huttunen, Jukka. 2006b. *Kohde 3*, Yhteenveto huoneiden 213 ja 313 ilmatiivysmittauksesta, merkkiainekokeista sekä kellarin kosteusmittauksista. Muistio 15.5.2006. Helsinki: Insinööritoimisto Mikko Vahanen.

Huttunen, Jukka. 2007. *Kohde 3*, Yhteenveto huoneiden 213 ja 313 seurantatutkimuksena tehdyistä ilmatiivistysmittauksista ja kellarin kosteusmittauksista. Muistio 27.3.2007. Helsinki: Insinööritoimisto Mikko Vahanen Oy.

Huttunen, Jukka. 2015. *Kohde 5*, Rakennusfysikaalisesti kriittisten rakennusosien työmaatoteutuksen ulkopuolinen tarkastus. Lausunto 20.4.2015. Kokkola: IdeaStructura Oy.

Huttunen, Jukka & Hönö, Antero. 2007. *Kohde 6*, A-siiven kuntoselvitys kiinteistön 2. vaiheen peruskorjauksen suunnittelua varten. Tutkimusselostus 10.4.2007. Helsinki: Insinööritoimisto Mikko Vahanen Oy.

Huttunen, Jukka & Mikkola, Antti. 2000. *Kohde 6*, Kosteustekninen toimenpide-ohjelma. Helsinki: Insinööritoimisto Mikko Vahanen Oy. 8 s.

Huttunen, Jukka & Palviainen, Tiina. 2014. *Kohde 5*, Suunnitelmien rakennusfysikaalinen tarkastus. Lausunto 24.3.2014. Helsinki: IdeaStructura Oy.

Hänninen, Aku & Kostilainen, Tapani. 2015. *Kohde 2*, Toimenpide-ehdotus ja täydentävä purkusuunnitelma. Helsinki, IdeaStructura Oy. 18 s.

Isoniemi, Sami. 2014. Oppilaitosrakennuksen korjaushankkeen lähtökohtien tarkastelu. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. 74 s.

Karekivi, Eero. 2006. OKTO-eriste. Käyttöturvallisuustiedote. Espoo: Outokumpu. 8 s. Saatavilla: <http://hiekkapojat.fi/wp-content/uploads/2014/05/OKTO.pdf> [viitattu: 10.11.2015]

Karnattuu, Risto & Pesonen, Reijo. 2012. Piilevien kosteusvaurioiden aiheuttamat terveyshaitat. Selvittäminen terveydensuojelulain mukaisilla asunnontarkastuksilla. Opinäytetyö, Rakennusterveys. Itä-Suomen yliopisto. Kuopio. 77 s.

Kauppi, Henna. 2013. Mikrobivaurioituneiden rakenteiden tutkiminen. Rakenteesta otettava ilmanäyte tutkimusten apuna. Insinööriyö (YAMK). Metropolia Ammattikorkeakoulu, Korjausrakentaminen ko. Helsinki. 79 s.

Keravuori, Turkka. 2006. *Kohde 3*, Jälkiseurantana tehdyt kosteusmittaukset purkutöiden yhteydessä 21.6.2006 tapahtuneeseen vesivahinkoon liittyen. Mittauspöytäkirja. Helsinki, Insinööritoimisto Mikko Vahnen Oy. 5 s.

Kokko, Erkki, Ojanen, Tuomo, Salonvaara, Mikael, Hukka, Antti & Viitanen, Hannu. 1999. Puurakenteiden kosteustekninen toiminta. Espoo: VTT Rakennustekniikka. 161 s.

Kärcher Oy. 2006. Kuivajääpuhallus on hienovarainen puhdistusmenetelmä teollisuuteen. Tekniikka ja Talous. [Viitattu 5.10.2015]. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/metallitekniikka/2006-09-19/Kuivajääpuhallus-on-hienovarainen-puhdistusmenetelmä-teollisuuteen-3263517.html>

Laki rakennusperinnön suojelusta 4.6.2010/498. Helsinki: Ympäristöministeriö 01.07.2010.

Leivo, Virpi. 1998. Kosteus ja home rakennuksissa. Teoksessa Leivo, Virpi (toim.). Opas kosteusongelmiin - mikrobiologinen, rakennustekninen ja lääketieteellinen näkökulma. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampere. ISBN 978-952-15-2733-3 (PDF).

Leskinen, Marko. 2007. *Kohde 3*, Rakenteen kosteusmittaus vesivahingon jälkeen. Kosteusmittausraportti 28.2.2007. Helsinki: Humi-Group Oy.

Lunkka, Hannu. 2004. *Kohde 3*, Rakennushistoriallinen selvitys. Helsinki. 46 s.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.

Malinen, Jenni & Palviainen, Tiina. 2014. *Kohde 2*, Tutkimusraportti. Helsinki: IdeaStructura Oy. 58 s.

Mantila, Minna. 2014. *Kohde 5*, Purkutyöselostus. Työselostus 21.1.2014. Espoo: Ramboll. 21 s.

Miettunen, Kiia. 2014. *Kohde 5*, Selvitys rakenteiden sisäilman laatuun vaikuttavien riskien huomioimisesta korjaussuunnittelussa. Muistio 17.2.2014. Espoo: Ramboll Finland Oy. 9 s.

Miettunen, Kiia & Koskela, Sanna. 2015a. *Kohde 5*, tilojen 104-113 ja 118A merkkiainekoe. Muistio tutkimuksesta 25.02.2015. Espoo: Ramboll Finland Oy. 9 s.

Miettunen, Kiia & Koskela, Sanna. 2015b. *Kohde 5*, tilojen 301-305 merkkiainekoe. Muistio tutkimuksesta 09.01.2015. Espoo: Ramboll Finland Oy. 9 s.

Miettunen, Kiia & Puranen, Piia. 2014. *Kohde 5*, tilan 301-302 merkkiainekoe. Muistio tutkimuksesta 12.9.2014. Espoo: Ramboll Finland Oy. 5 s.

Miettunen, Kiia & Turunen, Timo. 2013. *Kohde 5*, Sisäilma- ja kosteustekniset tutkimukset. Tutkimusraportti 28.10.2013. Espoo: Ramboll Finland Oy. 106 s.

Mikkola, Antti. 2000. *Kohde 6*, Alustava Rakennetutkimusraportti. Helsinki: Insinööri-toimisto Mikko Vahanen Oy. 15 s.

Mittag, Martin. 1957. Baukonstruktionslehre. 9. painos. Gütersloh: C. Bertelsmann Verlag. 352 s.

Mohr, Silvio. 1936. Der Hochbau. Eine Enzyklopädie der Baustoffe und der Baukonstruktionen. Wien: Verlag von Julius Springer.

MRL. ks. Maankäyttö- ja rakennuslaki.

Muoniovaara, M. 1922. Sementti ja sen käyttö. Helsinki: Rakentajain kustannus Oy.

Museovirasto. 1997. Valtion rakennusperinnön vaaliminen. Museoviraston rakennushistorian osaston julkaisuja 19. Helsinki: Museovirasto.

Museoviraston lausunto. 2014. *Kohteen 1* perusparantaminen. Rakennuslupa-asia -lausunto. Helsinki.

Mäkiö, Erkki, Malinen, Maarit, Neuvonen, Petri, Sinkkilä, Jyrki, Tuunanen, Anna-Maija & Saarenpää, Jukka. 1990. Kerrostalot 1940–1960. Helsinki: Rakennustietosäätiö. 273 s. ISBN 951-628-186-3.

Neuvonen, Petri, Mäkiö, Erkki & Malinen, Maarit. 2002. Kerrostalot 1880-1940. Helsinki: Rakennustieto Oy. 192 s. ISBN 951-682-668-7.

Nykänen, Vietti. 1911. Rautabetoni. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava. 185 s.

Palviainen, Tiina. 2014a. *Kohde 1*, Väli- ja yläpohjarakenteiden vaikutus sisäilman laatuun sekä rakenteiden korjausvaihtoehdot. Muistio 30.9.2014. Helsinki: IdeaStructura Oy. 16 s.

Palviainen, Tiina. 2014b. *Kohde 4*, Kaksoislaattavälipohjien korjaus. Yhteenveto korjauksista 15.7.2014. Helsinki: IdeaStructura Oy. 20 s.

Peltola, Susanna (toim.). 2008. Suunnittelijan opas koulurakennusten sisäilmasto-ongelmien ja kosteusvaurioiden korjaamiseen. Helsinki: Opetushallitus. 196 s.

Peruskorjausmuistio. 2005. *Kohde 3*, Muutto peruskorjattuihin tiloihin -projektin kokous. Helsinki: Työterveyslaitos.

- Pesonen Reijo & Karnaattu Risto. 2012. Piilevien kosteusvaurioiden aiheuttamat terveyshaitat- Selvittäminen terveydensuojelulain mukaisilla asunnontarkastuksilla. Opinnäytetyö, Rakennusterveys. Itä-Suomen yliopisto, Koulutus- ja kehittämisspalvelu Adunate. Kuopio. 77 s.
- Pohlmann, H. 1921. Thermosbau – Konstruktionsgrundlagen und Anwendungen. Berlin: Verlag von Julius Springer.
- Projektisuunnitelma. 2015. *Kohde 5*. Helsinki: Consti Korjausurakointi. 21 s.
- Putus, Tuula. 2014. Home ja terveys. Kosteusvauriohomeiden, hiivojen ja sädesienten esiintyminen sekä terveyshaitat. Pori: Suomen Ympäristö- ja Terveysalan Kustannus Oy. ISBN 978-952-9637-53-9. 143 s.
- Päkkilä, Taneli. 2012. Mikrobin kulkeutuminen sisäilmaan paine-eron vaikutuksesta. Diplomityö. Aalto yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, rakenne- ja rakennustuotantotekniikka. Espoo. 210 s.
- Rakennusluvan muutoshakemus. 2014. *Kohde 4*, Perusteet välipohjien vanhojen muottilaudoitusten sekä alalaatan purkamiselle. Rakennusluvan muutoshakemuksen liite 13.1.2014. Helsinki.
- Reijula, Kari, Ahonen, Guy, Alenius, Harri, Holopainen, Rauno, Lappalainen, Sanna, Palomäki, Eero & Reiman, Marjut. 2012. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu: Helsinki. 207 s. ISBN 978-951-53-3455-8 (PDF)
- Reiman, Marjut. 1998a. Mikrobit. Teoksessa Leivo, Virpi (toim.). Opas kosteusongelmiin - mikrobiologinen, rakennustekninen ja lääketieteellinen näkökulma. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. s. 39–46. ISBN 978-952-15-2733-3 (PDF).
- Reiman, Marjut. 1998b. Kosteusvaurioihin liittyvä mikrobikasvu. Teoksessa Leivo, Virpi (toim.). Opas kosteusongelmiin - mikrobiologinen, rakennustekninen ja lääketieteellinen näkökulma. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampere. s. 48–53. ISBN 978-952-15-2733-3 (PDF).
- Reiman, Marjut. 2015a. Mikrobitulosten tulkintaa. Luentokalvot Ratekon RTA-koulutus. Helsinki: Työterveyslaitos.
- Reiman, Marjut. 2015b. Tulosten tulkintaa: lajisto ja indikaattorit. Luentokalvot Ratekon RTA-koulutus. Helsinki: Työterveyslaitos.
- Riikonen, Pekka. 2012. Märkätilojen vedeneristystyön laadun seurantatutkimus. Opinnäytetyö. Saimaan ammattikorkeakoulu, Ylempi ammattikorkeakoulututkinto, Rakentamisen koulutusohjelma. Lappeenranta. 79 s.
- Roine, Arto & Tarkela, Jaana. 2014. *Kohde 6*, Purkutyöselostus. 30.3.2014. Helsinki: IdeaStructura Oy.

Romano, Francesco, Gusten, Jan, Joppolo, Cesare M., Ljungqvist, Bengt & Reinmüller, Berit. 2014. Some aspects on the sampling efficiency of microbial impaction air samplers. *Particuology* 20/2015, s. 110-113.

RT 14-10984. 2010. Betonin suhteellisen kosteuden mittaust. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS. 16 s.

RT 14-11197. 2015. Rakenteiden ilmatiiviyyden tarkastelu merkkiainekokein. Helsinki: Rakennustietosäätiö.

Sagulin, Jaana. 2015. *Kohde 1*, Homekoiraraportti. Mäntsälä: Homekoirat Sagulin Ky.

Salkinoja-Salonen, Mirja & Andersson, Maria. 2002. Ilman mikrobiologisen puhtauden tutkiminen. Teoksessa Salkinoja-Salonen, Mirja (toim.) *Mikrobiologian perusteita*, 703-711. Helsinki: Helsingin yliopisto ISBN 951-45-9502-5.

Salo, Johanna. 2014. Rakennuksen homeiden aineenvaihduntatuotteiden mittaamiseen perustuvan analytiikan kehittäminen. Diplomityö. Aalto yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, rakenne- ja rakennustuotantotekniikka. Espoo. 107 s.

Seurantakysely. 2006. *Kohde 3*, Seurantakysely sisäilman laadusta ja peruskorjauksen onnistuneisuudesta (syksy 2006). Powerpoint-esitys. Helsinki: Työterveyslaitos.

Seurantatutkimukset. 2007. *Kohde 3*, Sisäilmatutkimuksia kohteen tiloissa 15.2.2006, 1.3.2006, 29.3.2006 sekä 23.1.2007. Powerpoint-esitys. Helsinki: Työterveyslaitos.

STM 2003. Asumisterveysohje, Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. 88 s.

STM 2008. Asumisterveysopas. Ympäristö ja Terveys -lehti. 200 s.

Suomen Rakentamismääräyskokoelma C2. 1998. Kosteus. Määräykset ja ohjeet 1998. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. 16 s.

Talvitie, O. & Saaranen, S. (tark.). 2013. Näytteenotto-ohjeet rakennusten mikrobiutkimuksissa. Turun yliopiston ympäristöntutkimuskeskus, Aerobiologinen yksikkö. 16 s. Luettavissa; https://www.utu.fi/fi/yksikot/tyyk/aerobiologia/rakennusmikrobiologia/Documents/Näytteenotto-ohjeet_rakennusten_mikrobiutkimuksissa.pdf. [Viitattu 1.9.2015]

Tuomola, T. 1948. Välipohjista. *Rakennustaito*. N:o 16. s. 297–299.

Tähtinen, Katja, Aalto, Leena, Pietarinen, Veli-Matti, Lappalainen, Sanna, Holopainen, Rauno, Palomäki, Eero & Kuokkanen, Juha. 2013. Arvorakennusten käytettävyyttä ja hyvät korjauskäytännöt (ARVO). Helsinki: Työterveyslaitos. 120 s. ISBN 978-952-261-350-9 (PDF).

Varjo, U. 1939. Käytännöllinen huonerakennus. Helsinki: Werner Söderström osakeyhtiö. 302 s.

Valkonen, Maria, Jalkanen, Kaisa, Täubel, Martin, Peltonen, Matti, Vepsäläinen, Asko, Niittynen, Marjo & Hyvärinen, Anne. 2015. Menetelmien kehitystyö mikrobikasvun toteuttamiseksi. Teoksessa Säteri, Jorma & Ahola, Mervi (toim.). Sisäilmastoseminaari 2015. Espoo: Aalto yliopisto, Energiatekniikan laitos. s.381–384.

Viitamäki, Karoliina, Hämäläinen, Eila, Grönman, Jussi & von Dickoff, Matti. 2013. Kosteus- ja home-talkoot: Homekoiran käyttö kiinteistössä esiintyvien mikrobiperäisten hajujen tarkastuksessa - tilaajan ohje. Hometalkoot.fi. 7 s.

Winterhalter, Kati & Bonsdorff, Mikko. 2010. *Kohde 1*, Rakennushistoriaselvitys. Helsinki: Arkkitehtitoimisto Okulus Oy. 349 s.

Yrjölä, Kari. 2014. *Kohde 4*, Välipohjien korjaustyöselostus. Helsinki: WSP. 7 s.

Suullinen tiedonanto

Flink, Selja. 2015. Arkkitehti ja rakennuttajapäällikkö, Senaatti-kiinteistöt. Helsinki. Keskustelu 14.7.2015.

Heiska, Mikko. 2015. Työmaainsinööri, Hartela Oy. Helsingin seutukunta. Haastattelu ja työmaakerros 22.10.2015.

Huttunen, Jukka. 2015. DI, Rakennusfysikaalinen asiantuntija, IdeaStructura Oy. Praha. Keskustelu 03.10.2015.

Mäkiö, Erkki. 2015. Yliarkkitehti. Helsinki. Haastattelu 14.7.2015.

Palviainen, Tiina. 2015. DI, Rakennusfysikaalinen suunnittelija, IdeaStructura Oy. Helsinki. Keskustelu. 6.11.2015.

Suvanto, Veijo. 2015. Työnjohtaja, Hartela Oy. Helsingin seutukunta. Haastattelu 22.10.2015.

Liiteluettelo

Liite 1. Mikrobi-ilmanäytteiden tulokset

Liite 1. Mikrobi-ilmanäytteiden tulokset



Näytetiedot

Näyte otettu 30.07.2015 **Kellonaika**
Vastaanotettu 30.07.2015 **Kellonaika** 16.05
Tutkimus alkoi 30.07.2015 **Näytteenoton syy** Tilaustutkimus
Ottopiste
Näytteen ottaja Ahonen Kimmo
Viite Tulosyksikkö 15601, sisäilma andersen

Näytteet otettu 6-vaiheimpaktorilla, näytteenottoaika sisäilma ja ulkoilma 15 minuuttia, avaus 4 minuuttia

| Analyysi | Menetelmä | 16116-1 Sisäilma- näyte B127, huoneilmanäyte | 16116-2 Sisäilma- näyte Avaus A2 | 16116-3 Sisäilma- näyte B235, huoneilmanäyte | 16116-4 Sisäilma- näyte Avaus A8 | Yksikkö |
|---|---------------------------------------|--|---|--|---|--------------------|
| Bakteeripitoisuus | * STM Asumisterveys ohje 2003:1 | 110 | alle 9 | 38 | 9 | kpl/m ³ |
| Aktinomykeetti- pitoisuus | * STM Asumisterveys ohje 2003:1 | alle 2 | alle 9 | alle 2 | alle 9 | kpl/m ³ |
| Sieni-itiöpitoisuus (2 % mallasagar) | * STM Asumisterveys ohje 2003:1 | 87 | 400 | 71 | alle 9 | kpl/m ³ |
| Sienten tunnistus, mallas | * Viljely, mikroskopointi | | | | | |
| - Aspergillus sp. | * | 3 | | | | kpl/m ³ |
| - Aureobasidium sp. | | 4 | | | | kpl/m ³ |
| - Cladosporium sp. | * | 14 | 8 | 28 | | kpl/m ³ |
| - Fusarium sp. | * | | | 7 | | kpl/m ³ |
| - Mycelia sterilia | | 33 | 364 | | | kpl/m ³ |
| - Penicillium sp. | * | 26 | 28 | 14 | | kpl/m ³ |
| - Tunnistamattomat homeet | | | | 22 | | kpl/m ³ |
| - Hiivat | | 7 | | | | kpl/m ³ |

Akkreditointi ei koske lausuntoa. Analyysitulokset pätevät ainoastaan analysoiduille näytteille.
 Analyysitodistuksen saa kopioida vain kokonaan. Muussa tapauksessa kopiointista on saatava lupa.

| | | | |
|---|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| Postiosoite Viikinkaari 4 00790 Helsinki metropolilab@metropolilab.fi | Puhelin +358 10 391 350 | Faksi +358 9 310 31626 | Y-tunnus 2340056-8 Alv. Nro FI23400568 |
|---|-----------------------------------|----------------------------------|---|

<http://www.metropolilab.fi>



| | | | | | | |
|---|---------------------------------------|--|--|--|--|--------------------|
| Sieni-itiöpitoisuus (DG-18 agar) | * STM Asumisterveys ohje 2003:1 | 71 | 88 | 100 | 9 | kpl/m ³ |
| Sienten tunnistus, DG-18 | * Viljely, mikroskointi | | | | | |
| - Cladosporium sp. | * | 12 | | 23 | | kpl/m ³ |
| - Mycelia sterilia | * | 9 | 70 | 17 | | kpl/m ³ |
| - Penicillium sp. | * | | 9 | 23 | 9 | kpl/m ³ |
| - Penicillium spp. | * | 38 | | | | kpl/m ³ |
| - Tunnistamattomat homeet | | | | 30 | | kpl/m ³ |
| - Hiivat | | 12 | 9 | 7 | | kpl/m ³ |
| Analyysi | Menetelmä | 16116-5 Sisäilma- näyte B252, huoneilmanä yte | 16116-6 Sisäilma- näyte Avaus A10 | 16116-7 Sisäilma- näyte B351, huoneilmanä yte (käytävällä) | 16116-8 Sisäilma- näyte Avaus A17 | Yksikkö |
| Bakteeripitoisuus | * STM Asumisterveys ohje 2003:1 | 45 | 9 | 54 | alle 9 | kpl/m ³ |
| Aktinomykeetti- pitoisuus | * STM Asumisterveys ohje 2003:1 | alle 9 | alle 9 | alle 2 | alle 9 | kpl/m ³ |
| Sieni-itiöpitoisuus (2 % mallasagar) | * STM Asumisterveys ohje 2003:1 | 31 | 18 | 21 | 80 | kpl/m ³ |
| Sienten tunnistus, mallas | * Viljely, mikroskointi | | | | | |
| - Cladosporium sp. | * | | | 14 | 35 | kpl/m ³ |
| - Mycelia sterilia | * | 20 | | 5 | | kpl/m ³ |
| - Penicillium sp. | * | 9 | 18 | 2 | 45 | kpl/m ³ |
| - Hiivat | * | 2 | | | | kpl/m ³ |
| Sieni-itiöpitoisuus (DG-18 agar) | * STM Asumisterveys ohje 2003:1 | 42 | 9 | 47 | 97 | kpl/m ³ |
| Sienten tunnistus, DG-18 | * Viljely, mikroskointi | | | | | |
| - Cladosporium sp. | * | | | 19 | | kpl/m ³ |
| - Mycelia sterilia | * | 25 | | 2 | | kpl/m ³ |
| - Penicillium sp. | * | 12 | 9 | 26 | 97 | kpl/m ³ |
| - Hiivat | * | 5 | | | | kpl/m ³ |

Akkreditointi ei koske lausuntoa. Analyysitulokset pätevät ainoastaan analysoiduille näytteille.
Analyysitodistuksen saa kopioida vain kokonaan. Muussa tapauksessa kopioinnista on saatava lupa.

| | | | |
|------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|
| Postiosoite | Puhelin | Faksi | Y-tunnus |
| Viikinkaari 4 | +358 10 391 350 | +358 9 310 31626 | 2340056-8 |
| 00790 Helsinki | | | Alv. Nro |
| metropolilab@metropolilab.fi | http://www.metropolilab.fi | | F123400568 |



| Analyysi | Menetelmä | 16116-9 Ulkoilma (Sisäpiha) | | | | Yksikkö |
|---|---------------------------------------|-----------------------------------|--|--|--|--------------------|
| Bakteeripitoisuus | * STM Asumisterveys ohje 2003:1 | 47 | | | | kpl/m ³ |
| Aktinomykeetti- pitoisuus | * STM Asumisterveys ohje 2003:1 | alle 2 | | | | kpl/m ³ |
| Sieni-itiöpitoisuus (2 % mallasagar) | * STM Asumisterveys ohje 2003:1 | 45 | | | | kpl/m ³ |
| Sienten tunnistus, mallas | * Viljely, mikroskopointi | | | | | |
| - Cladosporium sp. | * | 14 | | | | kpl/m ³ |
| - Mycelia sterilia | | 5 | | | | kpl/m ³ |
| - Penicillium sp. | * | 26 | | | | kpl/m ³ |
| Sieni-itiöpitoisuus (DG-18 agar) | * STM Asumisterveys ohje 2003:1 | 47 | | | | kpl/m ³ |
| Sienten tunnistus, DG-18 | * Viljely, mikroskopointi | | | | | |
| - Cladosporium sp. | * | 5 | | | | kpl/m ³ |
| - Mycelia sterilia | | 2 | | | | kpl/m ³ |
| - Penicillium sp. | * | 40 | | | | kpl/m ³ |

*=näyte tutkittu akkreditoidulla menetelmällä

Yhteyshenkilö Kalso Seija, 010 3913 400, toimitusjohtaja

Kalso Seija
toimitusjohtaja

Tiedoksi Ahonen Kimmo, kimmo.ahonen@delete.fi;
Malinen Jenni

Akkreditointi ei koske lausuntoa. Analyysitulokset pätevät ainoastaan analysoiduille näytteille.
Analyysitodistuksen saa kopioida vain kokonaan. Muussa tapauksessa kopioinnista on saatava lupa.

| | | | |
|------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|
| Postiosoite | Puhelin | Faksi | Y-tunnus |
| Viikinkaari 4 | +358 10 391 350 | +358 9 310 31626 | 2340056-8 |
| 00790 Helsinki | | | Alv. Nro |
| metropolilab@metropolilab.fi | http://www.metropolilab.fi | | F123400568 |